Über die Anwendung des rotierenden Sektors zur photographischen Photometrie.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der hohen philosophischen Fakultät II. Sektion
der Kgl. Bayr. Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

vorgelegt
am 28. Februar 1913
von

Anton Ernst Weber.

Borna-Leipzig
Buchdruckerei Robert Noske
1913.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Einleitung 1
Die Versuchsmethode 8
Die Versuchsanordnung 15
Die Einstellung der Versuchsanordnung 23
Die chemische Behandlung und Ausmessung der Platten 28
Die zu erwartende Genauigkeit der Versuchsresultate 30
Die Versuche und ihre Ergebnisse hinsichtlich ihrer Abhängigkeit
1. von der Wellenlänge und Plattensorte 38
2. von der Tourenzahl 60
3. von der Expositionsdauer 71
Diskussion der Versuchsresultate 74
Zusammenstellung der Resultate. Schlußbemerkungen 78

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548312_0125

I. Einleitung.

Das Grundprinzip der optischen wie der photographischen Photometrie beruht darauf, aus einer Reihe bekannter Intensitäten diejenige herauszusuchen, welche an ein und derselben Stelle des Raumes unter den gleichen Verhältnissen die gleiche Beleuchtungsstärke erzeugt, wie die zu messende unbekannte Intensität. Letztere ist dann der ersteren gleich. Als Kriterium für die Gleichheit zweier Beleuchtungsstärken dient in der optischen Photometrie die Gleichheit der Helligkeit, in der die beiden Hälften eines vermöge der zu vergleichenden Beleuchtungsstärken erleuchteten Schirmes dem Auge erscheinen. In der photographischen Photometrie beurteilt man die Gleichheit zweier Beleuchtungsstärken durch die von ihnen auf einer lichtempfindlichen Schicht hervorgerufene chemische Wirkung, in letzter Linie vermittels der durch die Entwicklung der lichtempfindlichen Schicht entstehenden Schwärzung. Wir haben somit in letzterem Falle zwei Beleuchtungsstärken und mithin die ihnen zugehörigen Intensitäten als gleich anzusehen, wenn sie in derselben Zeit auf der gleichen lichtempfindlichen Schicht die gleiche Schwärzung hervorrufen.[1]) Da die Empfindlichkeit der photographischen Platte in hohem Grade von der Wellenlänge des einwirkenden Lichtes abhängt, so ist es in der photographischen Photometrie erforderlich, daß die zu vergleichenden Intensitäten die gleiche Wellenlänge haben.[2])

Der Vorgang der Photometrie zerfällt also in zwei Teile: einmal in die Bestimmung der Gleichheit der von verschiedenen Intensitäten erzeugten Beleuchtungsstärken und zweitens in die

---

[1]) Hartmann, Zeitschr. f. Instrumentenk. 19. S. 98, 1899.

[2]) W. Leimbach, Zeitschr. f. wiss. Photogr. 7. S. 157, 1909.

Herstellung bekannter Intensitätsverhältnisse. Zur Erfüllung der ersten Aufgabe dienen die verschiedenen Photometerkonstruktionen, in der photographischen Photometrie die verschiedenen Schwärzungsmesser. Was den zweiten Teil der Photometrie betrifft: die Herstellung bekannter Intensitätsverhältnisse, so hat man hier die mannigfachsten Mittel zur Verfügung. Erinnert sei an die Anwendung geeichter Glühlampen, Blenden von bekanntem Öffnungsverhältnis, Nikolscher Prismen, sowie an die Methoden, welche das Entfernungsgesetz zur Grundlage haben. Alle diese Methoden, die für beide genannten Arten der Photometrie anwendbar sind, werden an Einfachheit in der Anwendung übertroffen durch die Benutzung eines sogen. rotierenden Sektors, dessen Gebrauch jedoch zunächst lediglich auf die optische Photometrie beschränkt zu sein scheint. Die Wirkungsweise desselben beruht auf einer besonderen physiologischen Beschaffenheit des menschlichen Auges. Stellt man nämlich zwischen eine Lichtquelle und das beobachtende Auge eine Scheibe mit sektorförmigen Ausschnitten, so bekommt das Auge, wenn die Scheibe genügend schnell rotiert, einen kontinuierlichen Lichteindruck, aber von geringerer Helligkeit, als ohne die rotierende Scheibe. Die Helligkeit, welche die Lichtquelle mit zwischengeschalteter Scheibe dem Auge darbietet, läßt sich berechnen nach einem Gesetz, das Talbot zum ersten Male ausgesprochen hat und das in der Helmholtzschen Fassung wie folgt lautet[1]):

„Wenn eine Stelle der Netzhaut von periodisch veränderlichem und regelmäßig in derselben Weise wiederkehrendem Lichte getroffen wird und die Dauer der Periode hinreichend kurz ist, so entsteht ein kontinuierlicher Lichteindruck, der dem gleich ist, welcher entstehen würde, wenn das während einer Periode eintreffende Licht gleichmäßig über die ganze Dauer der Periode verteilt würde."

Nach diesem Gesetze ist also die Lichtstärke der jeweils benutzten Sektoröffnung proportional. Nachdem das Talbotsche Gesetz, dessen allgemeine Gültigkeit lange bezweifelt wurde,

---

[1]) Müller-Pouillet, Lehrb. d. Physik u. Meteorologie II, 1. S. 386.

durch die ausführlichen Untersuchungen von Lummer und Brodhun,[1]) sowie durch die Versuche von Hyde[2]) als richtig befunden und auch in neuerer Zeit durch praktische Anwendung indirekt bestätigt worden ist,[3]) besitzt die optische Photometrie in ihm ein überaus einfaches und mit mannigfachen Vorzügen ausgestattetes Mittel zur meßbaren Abschwächung von Lichtintensitäten. Die großen Vorzüge bestehen neben dem bereits genannten darin, daß bei der Abschwächung mit dem rotierenden Sektor die Natur des Lichtes ungeändert bleibt, daß alle Wellenlängen in gleicher Weise geändert werden und daß mit einfachen Mitteln eine große Genauigkeit ermöglicht ist. Würde der rotierende Sektor sich auch in der photographischen Photometrie verwenden lassen, so würden nicht nur die genannten Vorteile derselben zu gute kommen, sondern es wäre wegen der schon genannten Eigenschaft des Sektors, alle Wellenlängen in gleicher Weise zu schwächen, auch ein Mittel geboten, auf einfache Weise im unsichtbaren ultravioletten Spektralgebiete photometrische Messungen anzustellen. Da jedoch das Talbotsche Gesetz auf einer physiologischen Beschaffenheit unseres Auges beruht, so ist es für die photographische Platte offenbar nicht gültig. Betrachtet man aber die Verhältnisse von einem etwas anderen Gesichtspunkte, so scheint es nicht ganz unmöglich zu sein, daß der rotierende Sektor sich auch in der photographischen Photometrie anwenden läßt.

Legen wir uns einmal klar, was eintritt, wenn wir eine photographische Platte während einer Expositionsdauer T belichten

einmal kontinuierlich ohne Zwischenschalten eines rotierenden Sektors (also mit einer Sektoröffnung von $\omega = 360^0$),

ein andermal mit der gleichen Lichtquelle unter denselben Verhältnissen durch einen rotierenden Sektor von der Öffnung $\omega' = \frac{360^0}{n}$ hindurch.

---

[1]) Lummer und Brodhun, Zeitschr. f. Instrumentenk. 16. S. 299, 1896.

[2]) E. P. Hyde, Bull. Bur. of Stand. 2. p. 1, 1906.

[3]) P. P. Koch, Ann. d. Phys. 30. S. 841, 1909; Baisch, Ann. d. Phys. 35. S. 543, 1911.

Die Intensität J der Lichtquelle bleibt konstant. An ihr ändert der Sektor nichts. Wohl aber ändern sich die Zeiten, während welcher in Wirklichkeit Licht auf die Platte fällt. Die Zeit, während welcher die Lichtstrahlen wirklich auf die Platte einwirken, sei „wirksame Belichtungsdauer" genannt im Gegensatz zu der Zeit, während welcher die Kassette bezw. der Verschluß geöffnet ist. Diese wollen wir „Expositionsdauer" nennen. Ist letztere in den beiden oben genannten Fällen gleich, so ist die wirksame Belichtungsdauer verschieden. Ist dieselbe ohne Sektor ($\omega = 360^0$) gleich T, so ist sie mit Sektor nur mehr gleich $\frac{T}{n}$.

Was für eine Bedingung muß nun erfüllt sein, wenn für die photographische Platte ein dem Talbotschen Gesetz analoges gelten soll? Wir müssen offenbar durch die Belichtung mit dem rotierenden Sektor dieselbe Schwärzung erhalten, wie wenn wir ohne Sektor während der gleichen Expositionsdauer T kontinuierlich mit einer Intensität von der Größe $J' = \frac{J}{n}$ belichtet hätten. Denn in diesem Falle verhält sich:

$$J' : J = 1 : n, \quad \omega' : \omega = 1 : n,$$

mithin

$$J' : J = \omega' : \omega.$$

Es müssen also, wenn das Talbotsche Gesetz gelten soll, die den mit verschiedenen Sektoröffnungen in der gleichen Expositionszeit erhaltenen Schwärzungen entsprechenden Intensitäten sich verhalten wie die Winkel der zugehörigen Sektoröffnungen.

Würde für die photochemische Wirkung des Lichtes auf Trockenplatten das Bunsen-Roscoesche Gesetz gelten, nach welchem gleiche Schwärzungen gleichen Produkten von ($i \times t$) entsprechen,[1]) wo i die wirkende Intensität und t die wirksame Belichtungsdauer bedeutet, so wäre unsere oben verlangte Bedingung ohne weiteres erfüllt. Der rotierende Sektor ließe sich in der photographischen Photometrie zur meßbaren Intensitätsabschwächung benutzen und wir könnten die den einzelnen Sektoröffnungen entsprechenden Intensitäten einfach nach dem Talbotschen Ge-

[1]) Bunsen und Roscoe, Pogg. Ann. 117. S. 529, 1862.

setze berechnen. Nun gilt aber für die photographische Platte das Bunsen-Roscoesche Gesetz nur in einem sehr kleinen Schwärzungsbereich. In Wirklichkeit bekommen wir, wenn wir mit der Intensität J während der Zeit $\frac{T}{n}$ belichten, eine größere Schwärzung, als wenn wir mit der Intensität $\frac{J}{n}$ während der Zeit T belichten. Quantitativ wird dieses Verhalten am besten dargestellt durch das Schwarzschildsche Schwärzungsgesetz,[1]) nach welchem nicht gleiche Produkte von $(i \times t)$ sondern von $(i \times t^{\vartheta})$ gleiche Schwärzungen liefern. ϑ ist eine Zahl kleiner als 1, welche für ein und dieselbe Plattensorte konstant sein soll. Legen wir dieses Gesetz unserer obigen Betrachtung zugrunde, so kommen wir zu einem gänzlich anderen Resultat. Die Analogie mit dem Talbotschen Gesetz geht vollkommen verloren. Es wäre demnach an eine Möglichkeit, den rotierenden Sektor zur photographischen Photometrie zu verwenden, nicht zu denken, wenn nicht ein zweiter Umstand hinzukommen würde, den wir bei unserer Betrachtung bisher außer acht gelassen haben. Bei der Belichtung durch den rotierenden Sektor wirkt das Licht intermittierend, und wir haben angenommen, daß es auf die Schwärzung keinen Einfluß hat, ob das Licht kontinuierlich während einer Zeit T oder in kurzen Intervallen während der kleinen Belichtungszeiten τ, deren Summe gleich T ist, auf die Platte wirkt. Nun hat schon Abney[2]) gefunden, daß intermittierende Belichtung eine geringere Schwärzung hervorruft als gleich lange dauernde kontinuierliche, ein Resultat, das von Englisch[3]) und Schwarzschild[4]) bestätigt wurde. Haben wir nun gesehen, daß bei Gültigkeit des Schwarzschildschen Gesetzes ohne Rücksicht auf die geringere Wirkung des intermittierenden Lichtes bei Benutzung des rotierenden Sektors Schwärzungen entstehen würden, die einen zu großen Wert haben, so wird die

---

[1]) K. Schwarzschild, Publikationen der v. Kuffnerschen Sternwarte V, 1900.
[2]) Abney, Eders Jahrb. f. Photogr. u. Reprod.-Technik S. 149, 1895.
[3]) Englisch, Arch. f. wiss. Photogr. 1. S. 117, 1899.
[4]) Schwarzschild, Photogr. Corresp. S. 171, 1899.

intermittierende Belichtung bewirken, daß die Schwärzungen geringer werden, daß wir uns also wieder den Resultaten nähern, die wir unter Zugrundelegung des Bunsen-Roscoeschen Gesetzes gefunden haben. Um das diesem Gesetz entsprechende Ergebnis zu bekommen, müßte die Schwärzungsdifferenz zwischen kontinuierlicher und gleich lange dauernder intermittierender Belichtung ein ganz bestimmtes Maß haben. Die geringere Wirkung der intermittierenden Belichtung ist aber von so vielen Bedingungen abhängig — unter gewissen Umständen soll sich dieselbe überhaupt nicht mehr bemerken lassen —.[1]) daß eine theoretische Vorausbestimmung der Verhältnisse, bei denen gerade das Schwarzschildsche Gesetz in das Bunsen-Roscoesche übergeführt wird, kaum möglich ist. Die Frage nach der Anwendungsmöglichkeit des rotierenden Sektors zur photographischen Photometrie läßt sich also nur auf experimentellem Wege beantworten.

Von zwei Seiten ist bereits der Versuch hierzu gemacht worden. Im Jahre 1896 veröffentlichte Simon[2]) ein „neues photographisches Photometrierverfahren", welches auf der Benutzung des rotierenden Sektors beruht. Wenn auch die Annahme Simons, daß dauernde und intermittierende Belichtung auf die photographische Platte die gleiche Wirkung ausüben und daß für beide Belichtungsarten das Bunsen-Roscoesche Gesetz gilt, nicht richtig ist, weshalb neuerdings Schell[3]) dazu veranlaßt wurde, die Simonsche Methode als unbrauchbar hinzustellen, so zeigen dennoch die von Simon ausgeführten Messungen, daß die Methode ihre Berechtigung zu haben scheint. In letzter Zeit hat Baisch[4]) den Versuch gemacht, den rotierenden Sektor zur photographischen Photometrie zu benutzen. Er gelangt jedoch zu einem negativen Resultate. Erwähnt sei noch, daß Abney[5]) sowohl wie Englisch[6]) auf Grund ihrer Untersuchungen über die Wirkung intermittierender Belichtung auf die photo-

[1]) Englisch, Arch. f. wiss. Photogr. S. 125, 1899.
[2]) Simon, Ann. d. Phys. 59. S. 91, 1896.
[3]) Schell, Ann. d. Phys. 35. S. 695, 1911.
[4]) Baisch, Ann. d. Phys. 35. S. 547, 1911.
[5]) Abney, Eders Jahrb. f. Photogr. u. Reprod.-Technik S. 168, 1895.
[6]) Englisch, Arch. f. wiss. Photogr. 1. S. 130, 1899.

graphische Platte jede Möglichkeit, die intermittierende Belichtung für photometrische Zwecke zu benutzen, in Abrede stellen.

Wenn gleichwohl im folgenden die genannte Frage nochmals behandelt wurde, so war neben den positiven Ergebnissen der Simonschen Messungen Veranlassung dazu eine Beobachtung, die ein nach Angabe von Herrn Privatdozent Dr. P. P. Koch von mir ausgeführter Versuch zeitigte. Es handelte sich damals um die Auffindung einer Methode zur Photometrie intermittierenden Lichtes. Es zeigte sich, daß eine Lichtquelle von der Intensität J durch einen rotierenden Sektor mit zwei Öffnungen von je 90° hindurch auf einer photographischen Platte innerhalb der Expositionsdauer T dieselbe Schwärzung erzeugte, als wie die halbe Intensität in derselben Expositionsdauer ohne Sektor. Da sich in diesem speziellen Falle die zur photographischen Photometrie mit dem rotierenden Sektor notwendige Bedingung als erfüllt zeigte, lag es nahe, diese Erscheinung näher zu untersuchen und ihre allgemeine Gültigkeit nachzuweisen. Herr Koch war so liebenswürdig, mir die Ausführung der entsprechenden Versuche zu überlassen, wofür ich ihm an dieser Stelle meinen Dank aussprechen möchte.

Der

Zweck der vorliegenden Arbeit

ist also der folgende:

Auf experimentellem Wege ist die Frage zu entscheiden, ob es gestattet ist, den rotierenden Sektor in der photographischen Photometrie zur Herstellung bekannter Intensitätsverhältnisse zu benutzen. Diese Frage ist nach unseren obigen Ausführungen identisch mit der folgenden:

Bekommt man gleiche Schwärzungen, wenn man eine photographische Platte auf folgende zwei Arten belichtet:

1. Mit der Intensität J während der Expositionsdauer T intermittierend durch einen rotierenden Sektor von der Öffnung $\omega = \frac{360}{n}$ hindurch. Die wirksame Belichtungsdauer ist dann $\frac{T}{n}$.

2. Kontinuierlich ohne rotierenden Sektor während der gleichen Expositionsdauer (hier = wirksamen Belichtungsdauer) T, aber mit der Intensität $J' = \frac{J}{n}$.

Unsere Aufgabe besteht also darin, die Antwort auf diese Frage zu finden. Fällt diese in positivem Sinne aus, so ist der rotierende Sektor zur photographischen Photometrie verwendbar und es ergibt sich folgendes dem von P. P. Koch [1]) im Anschluß an Hartmann angegebenen analoges Photometrierverfahren:

1. Man photographiert die zu messende Erscheinung während der Expositionsdauer T.

2. Man photographiert auf derselben Platte mittels einer konstanten Intensität derselben Wellenlänge, welche die zu photometrierende Erscheinung besitzt, eine Anzahl von Marken während der gleichen Expositionsdauer T mit verschiedenen Sektoröffnungen, beginnend mit einer Öffnung von 360°, also ohne Sektor. Den so erhaltenen Schwärzungen sind Intensitäten zugeordnet, welche sich zu einander verhalten wie die entsprechenden Winkel der Sektoröffnungen. Mittels der so erhaltenen Intensität-Schwärzungsbeziehung [2]) läßt sich dann die Intensität der zu messenden Erscheinung aus deren Schwärzung durch graphische Interpolation bestimmen.

II. Die Versuchsmethode.

Der einfachste Weg, unser Ziel zu erreichen, ist offenbar der, die dem angegebenen Photometrierverfahren zugrunde gelegten Voraussetzungen als erfüllt, dasselbe somit als gültig anzunehmen und mit seiner Hilfe bekannte Intensitätsverhältnisse auszumessen. Bekommen wir dann für dieselben die richtigen bekannten Werte, so war unsere Annahme berechtigt und die Richtigkeit der Photometriermethode ist bewiesen. Zunächst ist es also unsere Aufgabe, bekannte Intensitätsverhältnisse herzustellen. Hier stehen nun die bereits oben genannten Mittel zur Verfügung. Von diesen kommen jedoch nur diejenigen in Betracht, welche das ganze Spektrum, sichtbares wie unsichtbares, in gleicher Weise schwächen, denn unsere Messungen

---

[1]) P. P. Koch, Ann. d. Phys. 30. S. 842, 1909.

[2]) Im folgenden kurz Sektormarkenkurve genannt.

sollen auch ins ultraviolette Spektralgebiet ausgedehnt werden. Es handelt sich also für uns nur um die Anwendung des Entfernungsgesetzes oder von Blenden mit bekanntem Schwächungsvermögen. Ersteres wurde nicht benutzt, da sich mit der Entfernung der Lichtquelle ja auch die Dicke der die ultravioletten Strahlen absorbierenden Luftschicht ändert. Es bleibt somit nur noch die Benutzung von Blenden übrig. Am einfachsten wäre die Anwendung einer sogen. Schieberblende gewesen, wie sie von P. P. Koch [1]) verwendet wurde. Da aber die Öffnung der Strahlenbündel aus Abbildungsgründen ziemlich klein gewählt werden mußte, so wurde auch diese Methode der Intensitätsabschwächung verworfen, da sie bei Herstellung kleiner Intensitäten zu sehr kleinen Blendenöffnungen geführt haben würde, die sicherlich beugend gewirkt hätten. Es würde schließlich eine Kreuzblende [2]) mit zwei sektorförmigen Ausschnitten von je 90° zur Anwendung gebracht, deren Schwächungsfaktor gleich $^1/_2$ ist. Eine solche Blende besitzt den großen Vorteil, daß, wenn sie in zwei entsprechenden Stellungen benutzt wird, das ganze Strahlenbündel bei der Abbildung zur Wirkung kommt und demnach Ungleichheiten in der Intensitätsverteilung innerhalb des Lichtbündels sich eliminieren lassen.

Bestimmt man den Schwächungsfaktor einer solchen Kreuzblende mit Hilfe unseres Photometrierverfahrens, so müssen wir, wenn dasselbe seine Berechtigung hat, den Wert 0,5 bekommen. Erhalten wir jedoch Werte, die mehr als die möglichen Meßfehler betragen, von 0,5 abweichen, so ist unsere Photometriermethode falsch, die gemachten Voraussetzungen sind nicht erfüllt, der rotierende Sektor ist zur photographischen Photometrie unbrauchbar. Um den gesamten Kurvenverlauf unserer Sektormarkenkurve zu prüfen, wird man den Schwächungsfaktor der Kreuzblende unter Benutzung verschiedener Intensitäten bestimmen, welche sich über die ganze Kurve verteilen.

Die Anwendung der Kreuzblende besitzt einen nicht zu verkennenden Nachteil, indem sie keine kontinuierliche Intensitäts-

---

[1]) P. P. Koch, Ann. d. Phys. 30. S. 855.

[2]) P. P. Koch, l. c. p. 855; s. Fig. 3b u. c. S. 19.

schwächung und somit keine kontinuierliche Prüfung unserer Sektormarkenkurve gestattet und vermöge dessen unsere Methode nicht ganz eindeutig zu sein scheint, wie folgendes Beispiel zeigen soll.

In Figur 1 sind zwei Kurven dargestellt: Ordinaten sind Schwärzungen in mm des im Schwärzungsmesser befindlichen Meßkeiles (vgl. S. 29), Abszissen relative Intensitäten. Die ausgezogene Kurve ist eine in der auf S. 8 angegebenen Weise

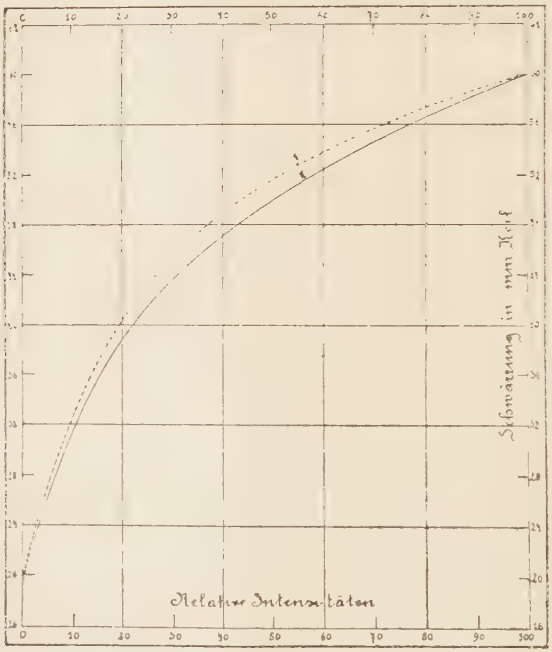


Fig. 1.

gewonnene Sektormarkenkurve. Die gestrichelte Kurve wurde erhalten, indem die den verschiedenen Sektorstellungen entsprechenden wirksamen Belichtungsdauern dauernd belichtet wurde und den so erhaltenen Schwärzungen dieselben Intensitäten zugeordnet wurden, wie den bezüglichen Sektormarken. Diese letztere Kurve entspricht also derjenigen, die wir erhalten würden, wenn für die intermittierende Belichtung dasselbe Schwärzungsgesetz gelten würde, wie für die kontinuierliche. An-

fangs- und Endpunkte für beide Kurven fallen zusammen, weil die Intensität Null in beiden Fällen die Schleierschwärzung liefert und weil bei einer Sektoröffnung von 360°, die als Ausgangspunkt benutzt wurde, Expositionsdauer und wirksame Belichtungsdauer einander gleich sind.

Wählen wir nun auf Kurve II eine Anzahl von Intensitäten aus, deren Verhältnis zu einander der Kreuzblende entsprechend 0,5 ist, und bestimmen wir das Verhältnis der den gleichen Schwärzungen auf Kurve I entsprechenden Intensitäten, so bekommen wir folgendes Ergebnis:

Kurve II.	Kurve I.
50 : 100 = 0,500	43,3 : 100 = 0,433
40 : 80 = 0,500	34,5 : 75,0 = 0,460
30 : 60 = 0,500	26,0 : 53,5 = 0,486
25 : 50 = 0,500	22,0 : 43,3 = 0,508
20 : 40 = 0,500	17,8 : 34,5 = 0,516
17,5 : 35 = 0,500	15,5 : 30,3 = 0,512
15 : 30 = 0,500	13,3 : 26,0 = 0,511
12,5 : 25 = 0,500	11,0 : 22,0 = 0,500
10 : 20 = 0,500	8,6 : 17,8 = 0,486

Man sieht: während das Intensitätsverhältnis bei Kurve II überall denselben Wert hat, ist es bei Kurve I abhängig von den benutzten Intensitäten. Vor allem ist zu bemerken, daß von einer bestimmten Stelle an die Intensitätsverhältnisse von 0,500 nur um Größen abweichen, die innerhalb der weiter unten zu erörtenden Meßfehlergrenze liegen. Wir sehen also, daß wir auf Grund unseres Kriteriums eine Kurve als richtig bezeichnen könnten, die in Wirklichkeit falsch ist, an der wir wohl ein Intensitätsverhältnis 0,5 richtig bestimmen, ein beliebiges andere aber falsch messen würden. Unsere Methode zur Prüfung der Sektormarkenkurve ist also offenbar nicht eindeutig. Dies wird jedoch hinfällig wenn man bei der Wahl der Intensitäten J_1, J_2 ..., für welche man den Schwächungsfaktor α der Kreuzblende photographisch-photometrisch bestimmt, in bestimmter Weise verfährt, wie es bei den weiter unten beschriebenen Versuchen auch wirklich geschehen ist. Dieselben gestalteten sich, kurz skizziert, folgendermaßen (vgl. Teil VII).

Zuerst wurden mit einer beliebigen Intensität i während der Expositionsdauer t die Sektormarken aufgenommen und die Sektormarkenkurve aufgestellt. Der erste Punkt derselben entspricht, um es nochmals zu betonen, einer kontinuierlichen Belichtung durch die Intensität i während der Expositionszeit t, welche hier gleich der wirksamen Belichtungsdauer ist, im Gegensatz zu den übrigen Punkten der Kurve, die ja durch intermittierende Belichtung gewonnen sind. Die Intensität i für den Ausgangspunkt der Kurve wurde gleich 100 gesetzt und die den übrigen Punkten entsprechenden Intensitäten in relativem Maße bezogen auf diese Ausgangsintensität $i = 100$ in der oben angegebenen Weise berechnet. Von dieser Sektormarkenkurve wissen wir zunächst nicht, ob sie den von uns an sie gestellten Anforderungen genügt. Wir wollen dies ja erst vermittels unserer Kreuzblende entscheiden. Für einen Punkt der Sektormarkenkurve können wir diese Entscheidung mit aller Sicherheit treffen, ganz unabhängig von der der Kreuzblende anhaftenden oben erwähnten scheinbaren Zweideutigkeit: nämlich für den Punkt, der der Intensität 50 entspricht. Dieser Punkt ist eindeutig festlegbar, wenn wir als erste Intensität J_1, für welche wir den Schwächungsfaktor α der Kreuzblende bestimmen, die Intensität i wählen, welche der Maximalintensität der Sektormarkenkurve entspricht. Durch eine Aufnahme mit der Kreuzblende während der kontinuierlichen Belichtungsdauer t müssen wir dann dieselbe Schwärzung bekommen, wie mit dem rotierenden Sektor bei einem Öffnungswinkel von 180°. Ist dies wirklich der Fall (und bei den Versuchen war dies in der Tat sehr genau der Fall), so muß die Sektormarkenkurve im Punkte 50 die wahre Kurve schneiden oder berühren, wenn sie nicht überhaupt mit ihr zusammenfällt. Mit „wahre Kurve“ sei hier kurz diejenige Kurve bezeichnet, die den Bedingungen genügt, die wir hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit zur Photometrie an die Sektormarkenkurve gestellt haben. Alle übrigen Punkte der Sektormarkenkurve sind also noch unbestimmt. Um den weiteren Kurvenverlauf zu prüfen, wurde der Schwächungsfaktor der Kreuzblende für weitere Intensitäten J_2, J_3 ... bestimmt, die aus der Intensität $J_1 = i$ durch der Größe nach unbekannte Abschwächung

erhalten wurden. Während also bei der ersten Bestimmung von α die dazu benutzte Intensität J_1 bekannt war, insofern wir sie gleich der Intensität i gewählt haben und i als das Maß angesetzt wurde, in dem wir alle unsere Intensitäten messen wollen, so sind hier die Intensitäten J_2, J_3 . . unbekannt und müssen erst an unserer Kurve gemessen werden, die ja mit Ausnahme der Punkte 100 und 50 noch nicht eindeutig bestimmt ist. Nun könnte in diesem Falle ein richtiger Wert von α vorgetäuscht werden, trotzdem unsere Sektormarkenkurve nicht mit der „wahren Kurve" zusammenfällt; nämlich dann, wenn die den Intensitäten J_2, J_3 . . und $\frac{1}{2}\,J_2$, $\frac{1}{2}\,J_3$ . . . entsprechenden Punkte auf Kurvenstücken liegen, die der „wahren Kurve" innerhalb des benutzten Stückes parallel laufen und zwar gleichzeitig oberhalb oder unterhalb derselben. Nun wissen wir bereits, daß die Sektormarkenkurve den Punkt 50 mit der „wahren Kurve" gemeinsam hat, daß sich also beide Kurven in diesem Punkte schneiden oder berühren müssen. Im ersteren Falle **müssen wir also eine deutliche Abhängigkeit des Wertes α von den Intensitäten J_2, J_3 . . bekommen und fernerhin eine deutlich ausgeprägte Abweichung vom Werte 0,5.** Läßt sich ein solches Verhalten der α nicht feststellen, bekommt man durch photometrische Bestimmung derselben mittels der Intensitäten J_2, J_3 . . Werte, die innerhalb der Meßfehler mit dem wahren Werte 0,5 übereinstimmen, so muß also die Sektormarkenkurve praktisch mit der wahren Kurve zusammenfallen.

Der oben angedeutete Fall der Vortäuschung eines richtigen Wertes von α durch Parallelität der Sektormarkenkurve mit der „wahren Kurve" wäre nur dann möglich, auch wenn beide den Punkt 50 gemeinsam haben, wenn dieser Punkt kein Schnittpunkt, sondern ein Berührungspunkt wäre und wenn wir annehmen würden, daß eine der beiden Kurven im Punkte 50 ein Minimum oder einen Wendepunkt besitzt. Dies ist aber sehr unwahrscheinlich. Denn beide Kurven sind „Schwärzungskurven", und solange es sich um Intensitäten bezw. Schwärzungen handelt, die innerhalb des Gebietes zwischen Über- und Unterexposition

liegen, wie es bei den folgenden Versuchen durchaus der Fall war, nimmt die Schwärzung mit wachsender Intensität bei konstanter Belichtungsdauer gleichmäßig zu. Aber ganz abgesehen davon würden wir, wenn dieser Fall praktisch dennoch möglich wäre, vor allem für Intensitäten wenig oberhalb oder unterhalb 50 eine deutliche Abweichung der photometrisch bestimmten Werte a von 0,5 bekommen, so daß also die Übereinstimmung der beiden Werte für solche Intensitäten auch in diesem Falle ein eindeutiger Beweis dafür ist, daß die Sektormarkenkurve mit der wahren Kurve zusammenfällt.

Ziehen wir die Schlußfolgerung aus den vorstehenden Betrachtungen, so sehen wir, daß vermittels unserer Kreuzblende unsere Sektormarkenkurve dann als vollkommen einwandfrei zur photographischen Photometrie benutzbar nachgewiesen ist, wenn

1. **vor allem** der für die **Maximalintensität der Sektormarkenkurve i = 100** bestimmte Wert des Schwächungsfaktors a der Kreuzblende mit dem bekannten 0,5 innerhalb der Meßfehler übereinstimmt und fernerhin

2. auch die für weitere Intensitäten bestimmten Werte a den Wert 0,5 ergeben.

Nochmals sei es betont, daß gerade der für die Intensität 100 bestimmte Wert a von besonderer Bedeutung ist und auf dessen guter Übereinstimmung mit dem berechneten Wert es vor allem ankommt. Wenn man die unten angegebenen Meßresultate überblickt, so sieht man, daß bei allen Versuchen gerade für die Intensität 100 die Werte a innerhalb geringer Fehler mit den Werten 0,5 übereinstimmen und auch keinerlei systematische Abhängigkeit der anderen Werte von den zu ihrer Bestimmung benutzten Intensitäten zu bemerken ist.

Betont sei hier auch noch, daß bei den Messungen für $\lambda = 650\,\mu\mu$ durch Benutzung einer Schieberblende die Anwendung der Kreuzblende vermieden werden konnte und sich hier die Sektormarkenkurve als vollkommen den an sie gestellten Anforderungen entsprechend erwiesen hat. Ebenso war dies bei den hier nicht mitgeteilten Vorversuchen im Blau und Grün der Fall.

III. Die Versuchsanordnung.

Die den Messungen zugrunde liegende Versuchsanordnung ist in Figur 2 schematisch dargestellt. Hohlspiegel H_1 entwirft von der Lichtquelle L ein scharfes Bild auf Spalt S_1. Dieser befindet sich in der Brennebene von Spiegel H_2, so daß die Lichtstrahlen den letzteren parallel verlassen. Spiegel H_3 vereinigt dann dieselben wieder zu einem scharfen Bilde von Spalt S_1 auf den Spalt S_2 eines Quarzspektrographen, welcher auf der photographischen Platte P ein Spektrum der Lichtquelle L entwirft. Vor der photographischen Platte ist ein enger Spalt angebracht, welcher nur das Licht derjenigen Wellenlänge hindurchläßt, welche gerade zur Messung benutzt werden soll. Zwischen den beiden Hohlspiegeln befindet sich im parallelen Strahlengang ein Diaphragma D mit der Vorrichtung zum Einsetzen der Kreuzblende.

Als

Lichtquelle

wurde eine Hochdruck-Quarz-Quecksilberlampe[1]) von Heräus benutzt. Dieselbe war durch einen Widerstand von 70 Ω direkt an die Pole der 120 Volt Akkumulatorenbatterie des Instituts angeschlossen. Eingebaut war die Lampe in einen Kasten, der an der vorderen Wand mit einer Öffnung versehen und mit einem Fenster aus Quarz verschlossen war. Diese Maßnahme war nötig, um die Lampe vor Luftzug zu schützen, insbesondere vor dem durch den sich dicht bei der Lampe befindenden rotierenden Sektor verursachten Luftstrom. Es hatte sich nämlich gezeigt, daß die Luftströmung von großem Einfluß auf die Belastung der Lampe und somit deren Intensität ist. Beispielsweise ging die Klemmspannung der frei brennenden Lampe nach Einschalten des rotierenden Sektors sofort um 10 Volt zurück. Um zu hohe Belastungen der Lampe zu vermeiden, war der dieselbe umgebende Kasten in der Decke mit einigen Ventilationslöchern versehen, die ihrerseits wieder durch einen passend angebrachten

[1]) Nähere Beschreibung siehe Küch und Retschinsky, Ann. d. Phys. 20. S. 563, 1906.

Schirm gegen den Luftzug des Sektors geschützt waren. Die so eingebaute Lampe zeigte bei noch so langem Betriebe des

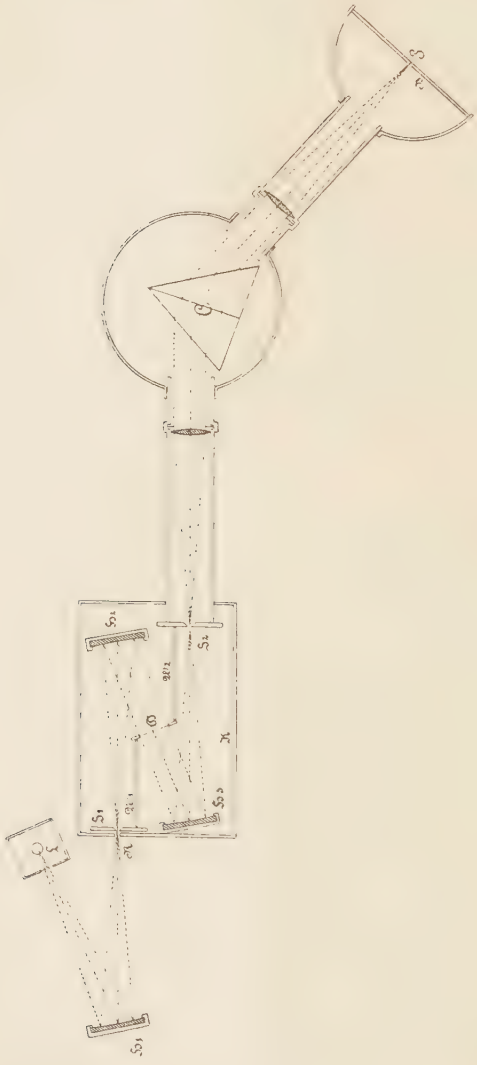


Fig. 2.
Schematische Darstellung der Versuchsanordnung.

Sektors konstante Klemmspannung bis auf kleine Schwankungen von $^1/_{10}$ Volt, die auf der Intensität keinen Einfluß mehr hatten.

Als

Hohlspiegel

H_1 diente eine einfache bikonkave Linse aus Glas, deren Rückseite zur Beseitigung des an ihr entstehenden Bildes matt gemacht und geschwärzt war. Die Brennweite der vorderen Fläche betrug 20 cm bei einer Öffnung von 22 mm. H_2 und H_3 waren Hohlspiegel aus Glas von einer Brennweite von je 20 cm und einer Öffnung von je 40 mm.

Spalt S_1 besaß eine Höhe von 7 mm und eine Breite von 1,8 mm. Die Höhe von Spalt S_2 betrug 2 mm, die Breite richtete sich nach der jeweils zur Messung benutzten Spektrallinie.[1])

Um die

Kreuzblende

schnell und immer genau zentrisch in den Strahlengang einsetzen zu können, war dieselbe in folgender Weise montiert: An dem Diaphragma D war ein kurzes Messingrohr mittels Scharnier beweglich und zentrisch zur Diaphragmaöffnung angebracht (s. Figur 3 a). In dem Messingrohr M befand sich drehbar die Kreuzblende. Durch zwei Anschläge waren die beiden einander korrespondierenden Stellungen markiert, in denen die Blende benutzt wurde (s. Figur 3 b und c). Durch Herauf- oder Herabklappen des Messingrohres konnte so die Kreuzblende in den Strahlengang gebracht oder aus ihm entfernt werden. Die Öffnung des Diaphragmas hatte einen Durchmesser von 19 mm, das Messingrohr eine lichte Weite von 21 mm. Die beiden Öffnungen der Kreuzblende wurden mit einem Goniometer ausgemessen und aus diesen Zahlen der Schwächungsfaktor der Blende bestimmt. Drei von einander unabhängige Messungen ergaben für denselben die Werte: 0,5052 0,5055 0,5054 der im folgenden benutzte Mittelwert beträgt somit **0,5054.**

---

[1]) Die untere Grenze für die Höhe und Breite des Spaltes S_2 ist bestimmt durch die Größe des vom Photometerwürfel des zur Schwärzungsmessung benutzten Mikrophotometers aus der Platte ausgeblendeten Plattenstückes (vgl. S. 29 und S. 45 oben).

Als Spektrograph wurde ein kleiner

Quarzspektrograph

von der Firma Fueß[1]) verwendet. Die Kollimatorlinse besaß eine Öffnung von 30 mm und eine Brennweite von 15 cm für Na-Licht. Die Öffnung konnte jedoch wegen der starken sphärischen Aberration der Linse nicht voll ausgenutzt werden. Um eine gute Abbildung zu erreichen, war es nötig, die Linse auf 10 mm abzublenden. Die im Apparate befindliche Fernrohrlinse wurde ersetzt durch eine bei C. A. Steinheil Söhne-München geschliffene Linse größerer Brennweite. Infolge der Konstruktion des Apparates war es nämlich nicht möglich, die Linien des kurzwelligeren Spektrums mit der im Apparate befindlichen Linse von 15 cm Brennweite scharf auf der Mitte der photographischen Platte zu erhalten, für den Fall, daß Kollimator und Fernrohr für die betreffende Linie fokussiert waren. Die neu eingesetzte Linse besaß eine Brennweite von 18 cm für Na-Licht und war auf Minimum der sphärischen Aberration geschliffen. Als Prisma kam ein Cornusches Prisma zur Anwendung, dessen beide Teile mit Glyzerin aneinander geklebt waren. An der photographischen Kamera des Spektrographen war eine Kassettenverschiebung angebracht, welche es gestattete, die Kassette horizontal und vertikal zu verschieben.

Die gesamte Spiegelanordnung war, um falsches Licht abzuhalten, in einen Kasten K eingebaut (Fig. 2). Eine kleine Öffnung in demselben in Höhe des Spaltes S_1 gestattete den Eintritt des Lichts. An den Stellen W_1 und W_2 befanden sich zwei Schirme, um an Metallteilen reflektiertes Licht abzublenden. Die gesamte Anordnung war auf einem marmornen Wandbrett aufgestellt. Die Spiegel und Blenden waren in ihren richtigen Stellungen aufgekittet. Der Spektralapparat bewegte sich in Schienen, welche es gestatteten, ihn in Richtung der optischen Achse des Kollimators zu verschieben. Außerdem waren die Schienen so angebracht, daß die optische Achse des Kollimators mit der Achse des von Spiegel H_3 kommenden Strahlenbündels zusammenfiel. Dies war aus dem Grunde nötig, weil die

[1]) Zeitschr. f. Instrumentenk. 17. S. 322, 1897.

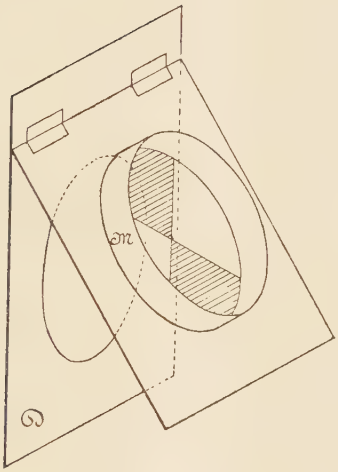


Fig. 3a. Montierung der Kreuzblende.

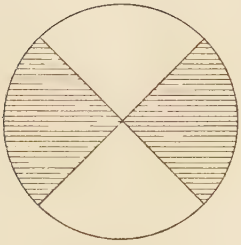


Fig. 3b. Kreuzblendenstellung I.

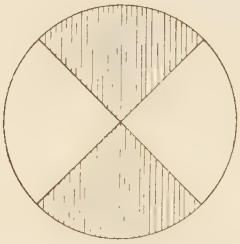


Fig. 3c. Kreuzblendenstellung II.

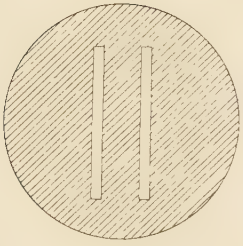


Fig. 4. Form der benutzten Hartmannblende (vgl. S. 25).

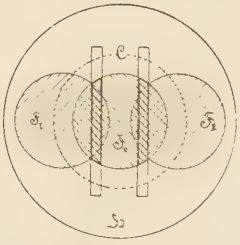


Fig. 5. Kriterium auf zentrischen Strahlengang (vgl. S. 26).

Fokussierung des Kollimators nicht durch Bewegung der Linse, sondern durch Verschieben des Spaltes erfolgen mußte. Dadurch rückt aber der Spalt S_2 aus der Brennebene des Spiegels H_3 heraus; die Folge ist, daß Spalt S_1 nicht mehr scharf auf Spalt S_2 abgebildet wird, worauf es aus später zu erörternden Gründen sehr ankommt. Mittels einer Marke und der beweglichen Anordnung des Spektralapparates war es möglich, Spalt S_2 immer wieder an die einmal als richtig ermittelte Stelle zu bringen.

Dicht vor Spalt S_2 war der

photographische Verschluss

angebracht. Er wurde elektromagnetisch in Tätigkeit gesetzt. Ein Hebel mit einer Fahne, die gewöhnlich den Spalt verdeckte, wurde beim Schließen eines Stromkreises durch einen Elektromagneten angezogen, so daß der Spalt frei wurde.

Der

rotierende Sektor

befand sich an der Stelle R (s. Fig. 2) möglichst dicht an der Wand des Kastens K. Die Sektorscheibe war auf einen Motor aufgesetzt, der bei einer Spannung von 110 Volt ca. 2000 Touren pro Minute machte. Der Motor stand auf einem Holzstativ, dessen Tischplatte über die zur Aufstellung der Versuchs-

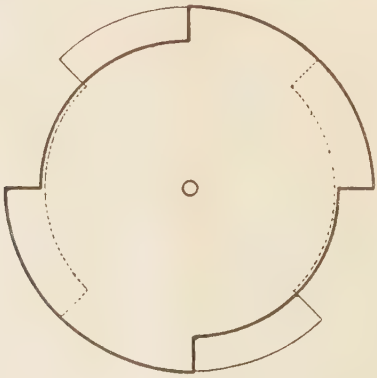


Fig. 6.
Schematische Ansicht der rotierenden Sektorscheibe.

$^1/_6$ natürlicher Größe. Die vordere der beiden gegeneiander verstellbaren Scheiben ist stark ausgezogen, die hintere schwach.

anordnung benutzte Marmorplatte überragte, sodaß die Sektoraufstellung in keiner Weise mit der anderen Anordnung in Berührung kam. Dadurch wurde vermieden, daß irgend welche, beim Laufen des Motors entstehende Erschütterungen auf die optischen Teile übertragen wurden. Betrieben wurde der Motor mit dem 110 Volt Stadtstrom. Um einer konstanten Tourenzahl gewiß zu sein, wäre es wünschenswert gewesen, auch den Motor an die Akkumulatorenbatterie anzuschließen. Dies war leider nicht möglich, um die Konstanz der Quecksilberlampe nicht zu beeinträchtigen.

Die Sektorscheibe bestand aus zwei aufeinander beweglich angebrachten Scheiben, von denen jede zwei offene Sektoren von je 90° besaß. Durch Schrauben konnten die beiden Scheiben in der gewünschten Stellung festgeklemmt werden. Die Winkelöffnung wurde an einer Teilung eingestellt, die auf der einen Scheibe eingraviert war. Die den einzelnen Teilstrichen entsprechenden Winkel wurden mit einem Goniometer ausgemessen. Diese Eichung war bereits von anderer Seite ausgeführt worden, da der Sektor schon zur Spektralphotometrie benutzt worden war. Da eine Nachprüfung der Eichung Resultate ergab, die von derselben nur um Fehlergröße abwichen, wurden die Zahlen der Eichung übernommen. Da die größte Öffnung der Sektorscheibe nur 180° betrug, so war mit derselben, wenn man als Ausgangspunkt die Öffnung 360° benutzte,[1]) nur eine Minimalschwächung von 1 auf $^1/_2$ auszuführen. Um daher noch eine Zwischenschwächung zu bekommen, wurde bei den letzten Versuchen noch eine zweite Sektorscheibe angewandt mit zwei Öffnungen von einer Gesamtgröße von 246° 12′.

Tabelle 1 enthält in Kolonne 1 die Angabe der Sektorstellungen, die bei den Versuchen benutzt wurden, in Kolonne 2 die entsprechenden Winkelöffnungen. In Kolonne 3 sind die zugehörigen relativen Intensitäten, bezogen auf die zur Sektoröffnung 360° gehörige Intensität, die gleich 100 gesetzt wurde, angegeben, berechnet nach dem Talbotschen Gesetz, in Kolonne 4 das Verhältnis von Einzelbelichtungsdauer zur Dauer der zwischen-

[1]) vgl. hierzu die Ausführungen auf S. 3 ff. u. 8.

Tabelle 1.

Sektortabelle.

Sektorstellung	Winkelöffnung	Intensität	Verhältnis Licht : Pause	Dauer der Einzelbelichtung in Sekunden					Wirksame Belichtungsdauer
				1890 Touren pro Min.	1000 Touren pro Min.	260 Touren pro Min.	120 Touren pro Min.	3 Touren pro Min.	
1	$2 \times 87^{\circ} 35'$	48,8	0,95	0,007724	0,014597	0,056144	0,121645	4,87	29,2 sec.
7	$2 \times 69^{\circ} 27'$	38,7	0,63	0,006124	0,011575	0,044519	0,096458	3,85	23,2 sec.
16	$2 \times 42^{\circ} 21'$	23,6	0,31	0,003735	0,007058	0,027148	0,058819	2,36	14,2 sec.
22	$2 \times 24^{\circ} 19'$	13,6	0,16	0,002144	0,004053	0,015588	0,033774	1,35	8,1 sec.
25	$2 \times 15^{\circ} 17'$	8,6	0,09	0,001348	0,002547	0,009797	0,021227	0,85	5,1 sec.
28	$2 \times 6^{\circ} 13'$	3,5	0,04	0,000548	0,001036	0,003985	0,008634	0,34	2,4 sec.

liegenden Pause. In den folgenden 5 Kolonnen findet man die Dauer der Einzelbelichtungen bei verschiedenen Tourenzahlen und endlich in der letzten Kolonne die den einzelnen Sektorstellungen entsprechenden „wirksamen Belichtungsdauern“ unter Annahme einer Expositionsdauer von einer Minute.

Diese Zahlen sind hier angegeben, weil sie für einige unten ausgeführte Intermittenzbetrachtungen von Interesse sind.

IV. Die Einstellung der Versuchsanordnung.

Was die Einstellung der optischen Teile der Versuchsanordnung betrifft, so ist hierbei auf drei Punkte besonders zu achten. Einmal ist es von großer Wichtigkeit, daß der Spalt des Spektralapparates sich genau in der Brennebene von Spiegel H_3 befindet. Ist nämlich die Kreuzblende in den Strahlengang eingeschaltet, so zerfallen die abbildenden Lichtstrahlen in zwei Strahlenbündel, die sich nur dann zu einem scharfen Bilde von Spalt S_1 vereinigen, wenn die Ebene, in welcher das Bild aufgefangen wird (also hier die Ebene von Spalt S_2) genau in die Brennebene des Spiegels fällt. Nur in diesem Falle bekommen wir auch ein Spaltbild von gleichmäßiger Helligkeit gleich der halben Helligkeit des Spaltbildes ohne Kreuzblende. Sowohl vor wie hinter der Brennebene bekommen wir zwei Bildteile, die sich mehr oder weniger überlagern und so zu einem Gesamtbilde von ungleichmäßiger Helligkeitsverteilung führen, innerhalb deren aber an keiner Stelle die Helligkeit gleich der halben Helligkeit des Bildes ohne Blende ist. Wir würden also in diesem Falle einen von 0,5 abweichenden Wert des Schwächungsfaktors bekommen, selbst wenn unsere Methode richtig ist.

Zweitens ist zu beachten, daß alle Strahlen, welche von der Kollimatorlinse des Spektrographen kommen, auch die Fernrohrlinse treffen. Aus diesem Grunde war es auch nicht möglich, die Messung gleichzeitig für verschiedene Wellenlängen auszuführen. Denn da die kürzeren Wellen im Prisma stärker abgelenkt werden, wird von den einzelnen abgelenkten Bündeln beim Eintritt in das Fernrohr immer mehr durch den Rand der Fernrohrlinse abgeblendet mit abnehmender Wellenlänge

bezw. wachsender Wellenlänge von derjenigen an gerechnet, für welche das Prisma im Minimum der Ablenkung steht. Für den Schwächungsfaktor unserer Sektorblende ist es aber von Bedeutung, daß die von Spalt S_1 ausgehenden wirksamen Strahlen auch auf der photographischen Platte P voll zur Wirkung kommen. Wegen der sphärischen Aberration der Linse war es, um eine dem Koma ähnliche Erscheinung zu vermeiden, noch nötig, den Winkel zwischen Fernrohr und Kollimator so zu wählen, daß die Fernrohrlinse symmetrisch zum optischen Mittelpunkt mit Licht gefüllt ist. Ist dies nicht der Fall, so tragen zur Bilderzeugung Zonen von ungleicher optischer Beschaffenheit bei, die nicht gleichmäßig rechts und links der durch die optische Achse gehenden Vertikalebene verteilt sind. Infolgedessen wird keine vollkommene Strahlenvereinigung eintreten und man wird einseitig verwaschene Linien mit unsymmetrischer Schwärzungsverteilung bekommen. Eine solche ist insofern von Nachteil auf die Schwärzungsmessung der einzelnen zu vergleichenden Spaltbilder, als ein Unterschied von nur zwei hundertstel Millimetern in der Stelle, an welcher man die Schwärzung mißt, bei an sich gleich gearteten Spaltbildern schon einen Schwärzungsunterschied von 1 mm Keil, das sind ca. 5 % Lichtintensität, ausmachen kann.

Für die photographische Platte P gelten hinsichtlich der genauen Einstellung dieselben Bedingungen, wie für Spalt 1 aus den gleichen Gründen.

Die Einstellung selbst wurde unter besonderer Berücksichtigung der eben angeführten Punkte wie folgt ausgeführt:

Zunächst wurde mittels eines Hilfsfernrohres und Fadenkreuzes die Mitte von Spalt S_1 und die Mitte der Kreuzblende auf die Mitte des Spektrographenspaltes eingestellt. Die Einstellung von Spalt S_1 in die Brennebene von Spiegel H_2 wurde mit einem auf unendlich eingestellten achromatischen Fernrohre ausgeführt. Nachdem Spalt S_1 und Spiegel H_2 in der richtigen Entfernung voneinander auf der Marmorplatte festgekittet waren, erfolgte die Aufstellung des Diaphragmas D mit der Kreuzblende, des Spiegels H_3 und die Anbringung der oben erwähnten Schienenführung für den Spektrographen. Die genaue Beschreibung

dieser Einstellung, bei der die auf S. 18 bereits angegebenen Forderungen zu erfüllen waren, möge hier übergangen werden.

Die

Einstellung des Quarzspektrographen

wurde in folgender Weise vollzogen: Das Senkrechtstellen der brechenden Kante des Prismas zur Kollimatorachse geschah dadurch, daß mittels einer Glasplatte vom Spalte aus Licht in den Kollimator geworfen und das Prisma so eingestellt wurde, daß die an den beiden Prismenflächen reflektierten Spaltbilder mit dem Spalte selbst sich deckten. Eine Justierung von Fernrohr- bezw. Kollimatorachse senkrecht zur Umdrehungsachse war nicht möglich, weil keine entsprechenden Stellvorrichtungen vorhanden waren.

Die Einstellung des Prismas ins Minimum der Ablenkung, die Ermittelung des richtigen Winkels zwischen Fernrohr und Kollimator, sowie die Fokussierung der letzteren für die gewünschte Wellenlänge erfolgten im sichtbaren und unsichtbaren Spektralgebiete auf photographischem Wege. Nachdem die Minimumstellung des Prismas durch eine Reihe successiver Aufnahmen ermittelt war, wurde der Kollimator mit Hilfe des Schusterschen Prinzips[1]) unter Ausführung Hartmannscher extrafokaler Blendenaufnahmen[2]) fokussiert. Nach Schuster ist der Kollimator eines Spektrographen dann fokussiert, wenn beim Drehen des Prismas sich die Schnittweite der Strahlen im Fernrohre nicht ändert. Nach Hartmann bestimmt man die Schnittweite eines Strahlenbündels in einfacher und sehr genauer Weise durch extrafokale Aufnahmen mit einer Blende von der in Figur 4[3]) skizzierten Form. Bei Einschalten einer solchen Blende in den Strahlengang erhält man auf einer photographischen Platte in Ebenen außerhalb der Schnittweite der Strahlen zwei Linien, aus deren Abstand in Verbindung mit der jeweiligen Entfernung der Platte vom Linsenscheitel sich die Schnittweite graphisch interpolieren läßt. Durch eine Anzahl von Aufnahmen

---

[1]) Phil. Mag. 7. S. 95, 1879.

[2]) J. Hartmann, Zeitschr. f. Instrumentenk. 24. S. 1, 1904.

[3]) s. S. 19.

wurde im vorliegenden Falle derjenige Kollimatorauszug ermittelt, für welchen bei zwei Stellungen des Prismas symmetrisch zur Minimumstellung die Schnittweite der Strahlen im Fernrohr dieselbe blieb.

Die Ermittelung des richtigen Winkels zwischen Fernrohr- und Kollimatoraxe, bei welchem das vom Kollimator kommende Licht die Fernrohrlinse zentrisch ausfüllt, worauf es aus den bereits genannten Gründen ja besonders ankommt, konnte auch mit einer Blende der angegebenen Form (Fig. 4) in einfacher und doch genauer Weise ausgeführt werden. Setzt man eine solche Blende hinter die Kollimatorlinse und blendet man das Fernrohr durch die in demselben befindliche Irisblende so weit ab, daß seine Öffnung kleiner ist, als der Durchmesser des vom Kollimator kommenden Lichtbündels, aber doch noch größer, als der Abstand der beiden Spalte in der Hartmannblende, dann werden die bei einer extrafokalen Aufnahme mit Hilfe des Fernrohres auf der Platte entstehenden beiden Linien nur dann beide erscheinen und vor allem die gleiche Länge haben, wenn das Fernrohr so zum Kollimator gestellt ist, daß unsere verlangte Bedingung erfüllt ist. Das folgt ohne weiteres aus Figur 5, in welcher die vorliegenden Verhältnisse skizziert sind. H ist die im Kollimator befindliche Hartmannblende, C der Durchschnitt des vom Kollimator kommenden Lichtbündels, F_0, F_I und F_{II} die Öffnung des Fernrohres bei verschiedenen Winkelstellungen desselben.

Es wurde demnach diejenige Fernrohrstellung aufgesucht, für welche eine extrafokale Aufnahme unter den genannten Umständen die beiden Linien in gleicher Länge zeigte. Im sichtbaren Teile des Spektrums konnte diese Einstellung durch Beobachtung von der Brennebene der Fernrohrlinse aus geschehen. Es zeigt sich dann dem Auge direkt das in Figur 5 skizzierte Bild.

Die genaue Einstellung der Platte schließlich erfolgte wieder mittels extrafokaler Blendenaufnahmen wie oben beschrieben.

War der Spektrograph für die gewünschte Wellenlänge eingestellt, so wurde er auf die Schienenführung gesetzt und die

Einstellung von Spalt S_2 in die Brennebene des Hohlspiegels H_3

vorgenommen. Eine kleine Mattscheibe wurde in derjenigen Entfernung von Spiegel H_3 aufgestellt, in welcher ein scharfes Bild von Spalt S_1 auf ihr entworfen wurde. Sodann wurde der Faden eines Pendels mit der Mattscheibe in Berührung gebracht, die letztere entfernt und der Spektralapparat so weit in der Schienenführung vorgeschoben, daß der Spalt den Pendelfaden berührte. Der Spalt befindet sich dann in der Bildebene von Spiegel H_3. Die Richtigkeit der Einstellung wurde in folgender Weise nachgeprüft: Steht die Spaltebene nicht genau in der Brennebene des Spiegels H_3, so entsteht in ihr ein unscharfes Bild von Spalt S_1, das bei Herunterklappen der Kreuzblende ungleichmäßige Helligkeitsverteilung besitzt, wie bereits oben angegeben. Demnach wird auch das Bild des Spaltes S_2 auf der photographischen Platte P ungleichmäßige Schwärzungsverteilung zeigen. Aus praktischen Gründen wird man bei der Anwendung dieses Kriteriums die Kreuzblendenstellung I und den Spalt S_2 in seiner ganzen vertikalen Länge benutzen. Bei ungenauer Einstellung muß dann die Schwärzung im Spaltbild auf der Platte von oben nach unten variieren. Ist eine solche Schwärzungsverteilung nicht zu bemerken, so ist die Einstellung genau. Wichtig ist bei diesem Kriterium, daß die Fernrohrlinse vorher richtig fokussiert war und an dieser Einstellung nichts mehr geändert wurde.

Nachdem die Einstellung des Spaltes S_2 so einmal ausgeführt worden war, wurde sie durch ein am Spalt angebrachtes Pendel, dessen Senkel in eine Spitze ausgezogen war und auf einer an der Tischplatte angebrachten zweiten Spitze einspielte, festgelegt. Wurde bei der Anwendung anderer Wellenlängen der Kollimator verstellt, so konnte der ganze Spektralapparat mittels der angebrachten Marke mit Hilfe von Fernrohr und Fadenkreuz immer wieder an dieselbe einmal als richtig ermittelte Stelle gebracht werden.

V. Die chemische Behandlung und die Ausmessung der Platten.

Die zu den Aufnahmen benutzten Platten hatten eine Größe von 4,5 : 6 cm und wurden aus 9 : 12 cm Platten herausgeschnitten. Letztere wurden zum größten Teil direkt von den Fabriken bezogen.[1]) Die Entwicklung erfolgte mit Metol-Hydrochinon-Entwickler von folgender Zusammensetzung:

Lösung A:
500 ccm dest. Wasser
50 g Pottasche.

Lösung B:
500 ccm dest. Wasser
50 g Natriumsulfit
5 g Hydrichinon
1 g Metol.

Ein Teil Lösung A und ein Teil Lösung B wurden mit einem Teile Wasser gemischt. Der Zusatz von Bromkali und die Entwicklungsdauer richteten sich nach der Plattensorte. Hochempfindliche Platten wurden nicht so lange entwickelt wie niedrig empfindliche, um Plattenschleier zu verhüten. Im übrigen würde der Entwicklung das Prinzip zugrunde gelegt, möglichst lange zu entwickeln, um der Lösung Zeit zu lassen, gleichmäßig die ganze Dicke der Gelatineschicht zu durchdringen. Die Entwicklung wurde nie früher als 15 Minuten nach Beendigung der Aufnahme vorgenommen. Dies geschah aus dem Grunde, weil Brush[2]) gefunden hat, daß die Zersetzung des Bromsilbers nach beendeter Belichtung noch einige Zeit fortdauert und diese Nachwirkung durch ein sofortiges Entwickeln der Platte unterbrochen wird. Demnach würden Marken, die auf derselben Platte mit der gleichen Intensität nacheinander aufgenommen worden sind,

---

[1]) Den Firmen S. Hauff in Feuerbach und Lumière & Söhne in Lyon bin ich zu Dank verpflichtet für kostenlose Überlassung einer großen Anzahl Probeplatten.

[2]) Brush, Phys. Rev. 31. S. 241, 1910.

verschiedene Schwärzung zeigen entsprechend den verschiedenen Zeitintervallen zwischen Beendigung der Belichtung und Beginn der Entwicklung, wenn mit der letzteren nicht lange genug gewartet worden ist. Eine derartige Erscheinung konnte unter den angegebenen Verhältnissen nicht beobachtet werden. Ebensowenig ein Rückgang des latenten Bildes, wie er sich bei Brush schon eine Stunde nach Beendigung der Aufnahme gezeigt hat und für längere Zeiträume schon von Baekeland [1]) unter gewissen Bedingungen konstatiert worden ist. Bemerkt sei, daß die Platten im vorliegenden Falle nie länger als 24 Stunden bis zur Entwicklung aufgehoben wurden. Die Fixierung der Platten erfolgte mit saurem Fixiersalz von Hauff. Nach der chemischen Behandlung wurden die Platten gründlich gewässert und in freier Luft getrocknet. Schneiden, Einlegen, Entwickeln und Fixieren erfolgte in voller Dunkelheit, einmal, um schleierfreie Negative zu bekommen und dann aus dem Grunde, weil eine Vorbelichtung von Einfluß auf das Schwärzungsgesetz sein soll und unsere vorliegende Frage, wie wir in der Einleitung gesehen haben, wieder indirekt mit der Form des Schwärzungsgesetzes in Zusammenhang steht.

Ausgemessen wurden die Photogramme mit einem Hartmannschen Mikrophotometer.[2]) Der Meßkeil war mit einem Scheinerschen Sensitometer hergestellt. Für alle benutzten Plattensorten wurde derselbe Keil verwendet, was ohne weiteres geschehen konnte, da alle Platten ungefähr dieselbe Korngröße besaßen wie der Keil. Die folgende Tabelle gibt die Reduktion des benutzten Keiles auf die Hartmannsche Schwärzungs-Skala Nr. 20. Die Mikroskop-Objektive besaßen eine 20fache Vergrößerung. Das vom Photometerwürfel in diesem Falle aus der Platte herausgeblendete Stück hat eine Größe von $0{,}01 \times 0{,}53$ mm. Vor der Platte befand sich eine Blende zur Vermeidung des Schwarzschild-Villigerschen Fehlereinflusses.[3]) An sich wäre die Benutzung einer solchen Blende nicht nötig gewesen, da es sich

[1]) Baekeland, Zeitschr. f. wiss. Phot. 3. S. 58, 1905.

[2]) J. Hartmann, Zeitschr. f. Instrumentenk. 19. S. 97, 1899.

[3]) Schwarzschild-Villiger, Astrophys. Journ. 23. S. 284, 1906. — Vgl. auch Koch l. c. p. 861.

um Ausmessung isolierter einzelner Linien handelte. Gleichwohl wurde die Messung mit Plattenblende ausgeführt, da dieselbe die Einstellung auf gleiche Schwärzung am Keil bedeutend erleichterte, wenigstens für den Verfasser. Die Schwärzung der Spatbilder wurde jeweils in deren Mitte gemessen, in der die Schwärzung auf einen Bereich von einigen hundertstel Millimetern längs der Bildbreite hin konstant war. Jede Platte wurde tun-

Tabelle 2.

mm des benutzten Keiles	Nummer der Hartmannschen Skala Nr. 20.
13,6	4
19,1	5
23,8	6
26,8	7
30,9	8
33,2	9
36,3	10
39,1	11
41,0	12
44,4	13
48,4	14
51,8	15
57,8	16
62,2	17
69,2	18

lichst ohne Unterbrechung ausgemessen, was eine Zeit von $1^1/_2$—2 Stunden erforderte. Der zur Photometrie benutzte Raum war lediglich durch die zur Erleuchtung des Photometers nötige Lampe erhellt, welche vor der am Apparate befindlichen Mattscheibe stand.

VI. Die zu erwartende Genauigkeit der Versuchsresultate.

Die Genauigkeit der Versuchsresultate, also die Übereinstimmung des photometrisch bestimmten Wertes des Schwächungsfaktors der Kreuzblende mit dem aus den geometrischen Dimensionen derselben berechneten, hängt von folgenden Faktoren ab:

1. Von der Güte der benutzten Platten.
2. Von der Konstanz der Lichtquelle.
3. Von der Genauigkeit der Intensitätskala.
4. Von der Genauigkeit der Schwärzungsmessung.

Am meisten ausschlaggebend von den genannten Punkten ist der erste: die Güte der photographischen Platte sowohl hinsichtlich der Gleichmäßigkeit und Reinheit der Schicht als auch hinsichtlich der örtlichen Konstanz der Plattenempfindlichkeit. Wenn auch die Herstellung der Trockenplatten in den Fabriken mit äußerster Sorgfalt vorgenommen wird, so fanden sich doch immer wieder helle und dunkle Flecken, Anhäufungen von Körnern, Ungleichmäßigkeiten in der Korngröße, sowie wolkenförmige Gebilde in der Schicht, Fehler, die für die Amateurphotographie kaum von Bedeutung, für die wissenschaftliche Photographie, vor allem die Photometrie, jedoch in hohem Grade unangenehm sind, da sie ein falsches Resultat vortäuschen können. Alle Platten, welche irgendwelche derartige Erscheinungen zeigten, wurden für die Ausmessung verworfen. In den Fällen, in welchen sich Fehler der genannten Art nicht offensichtlich wahrnehmen ließen, werden dieselben natürlich unsere Messung ungünstig beeinflussen. Weit gefährlicher jedoch als diese Mißstände, die sich in den weitaus meisten Fällen direkt feststellen lassen, ist eine örtliche Inkonstanz der Plattenempfindlichkeit,[1]) für welche man nicht immer die nötige Kontrolle hat, vor allem, wenn die Empfindlichkeit nicht gleichmäßig nach irgendeiner Richtung hin variiert, sondern sich sprungweise in Gebieten sonst gleicher Empfindlichkeit ändert. Um einen aus der Inkonstanz der Plattenempfindlichkeit resultierenden Fehler möglichst herabzusetzen und auch einigermaßen ein Urteil über dieselbe zu haben, wurden die einzelnen zur Messung nötigen Spaltbilder unter geeigneter Anordnung doppelt auf die Platte gedruckt. Wenn auch im allgemeinen bei den benutzten Platten die gleichen Intensitäten entsprechenden Schwärzungen auf einige zehntel Millimeter Keil konstant waren, so kamen doch immer

[1]) Vgl. auch J. Hartmann, Eders Jahrb. f. Photogr. und Reprod.-Techn. S. 58, 1906.

wieder Abweichungen von 1—2 mm vor. Alle Platten, bei denen eine Maximaldifferenz von 1,5 mm in den Schwärzungen identischer Marken überschritten wurde, wurden bei der Berechnung der endgültigen Resultate ausgeschlossen. Wie man aus Kurve II, Figur 1 sieht, entspricht einer Schwärzungsdifferenz von 1—1,5 mm bei mittleren Schwärzungen ein Intensitätsunterschied von 8—15 %. Da alle Marken, wie gesagt, doppelt aufgenommen wurden, haben wir also im ungünstigsten Falle mit einem durch die örtliche Inkonstanz der Plattenempfindlichkeit hervorgerufenen Fehler von 4—8 % zu rechnen.

Erwähnt sei an dieser Stelle noch, daß sich eine Variation der Plattenempfindlichkeit dadurch erklären lassen könnte, daß sich die Temperatur der Platte während einer Aufnahmereihe geändert hat. Während Schellen [1]) nämlich gefunden hat, daß in einem Bereiche von — 20° bis + 90° C die Empfindlichkeit der Bromsilbergelatine sich mit der Temperatur nicht ändert, hat sich bei Brush [2]) bereits ein Temperatureinfluß von 1° deutlich bemerkbar gemacht. Demgegenüber sei bemerkt, daß Schwankungen in der Zimmertemperatur im Höchstbetrage von 0,5°, wie sie bei unseren Versuchen in einigen Fällen vorkamen, sich während der Dauer einer Aufnahme-Serie wohl kaum auf die Temperatur der im Spektralapparat befindlichen Platte übertragen, und daß die Schwärzungsdifferenz in den Marken gleicher Intensität sich mit Sicherheit aus deren Lage auf der Platte auf ungleiche Empfindlichkeit an sich zurückführen ließ.

Als zweiter für die Genauigkeit der Meßresultate in Betracht kommender Punkt ist die Konstanz der benutzten Lichtquelle genannt. Da unsere Versuche insbesondere auch im ultravioletten Spektralgebiete vorgenommen werden sollten, mußte eine Lichtquelle gewählt werden, die sowohl genügende Konstanz als auch Größe der Intensität im Gebiete kleiner Wellenlängen besitzt. Beide Eigenschaften zeigte in ausgezeichneter Weise die zu den Aufnahmen verwendete Quecksilberlampe, wenn man für ge-

---

[1]) A. Schellen, Über die Gültigkeit des Bunsen-Roscoeschen Gesetzes für Bromsilbergelatine, Diss. Münster.

[2]) l. c. F. Brush, Phys. Rev. 31. S. 241, 1910.

nügend konstante Klemmspannung und in der oben angegebenen Art für Schutz gegen Luftzug Sorge trägt, und wenn man nach dem Zünden der Lampe zwei Stunden bis zu Beginn der Versuche wartet. Durch eine große Anzahl von Kontrollaufnahmen wurde die Konstanz der Lampe geprüft, indem unter den gleichen Verhältnissen irgendeine Linie des Spektrums mehrmals auf derselben Platte aufgenommen wurde. Die hierbei zwischen den erhaltenen Schwärzungen auftretenden Differenzen konnten mit Sicherheit lediglich der Inkonstanz der Plattenempfindlichkeit zugeschoben werden.

Um ein Bild von den eben besprochenen Verhältnissen zu geben, sei das Resultat zweier Aufnahmen angeführt, welche den Typus der Plattenempfindlichkeit und Konstanz der Lampe zeigen, wie er in den meisten Fällen vorgefunden wurde. Es handelt sich hierbei um die mehrmalige Aufnahme der Hg-Linie $\lambda = 334{,}2\ \mu\mu$ unter denselben Bedingungen auf einer Hauff-Extra-Rapid-Platte. Die folgende Zusammenstellung der den jeweiligen Einzelexpositionen entsprechenden Schwärzungen zeigt, wie sich dieselben über die Platte verteilen.

41,9	41,7	41,9	42,0
42,1	42,3	42,1	42,2
42,2	42,0	42,7	41,7
42,8	42,7	42,0	41,8

Aufnahme 386a.

41,4	41,2	41,3	41,4
41,6	41,2	41,3	41,5
41,4	41,4	41,2	41,3
41,0	42,0	41,6	41,6

Aufnahme 386b.

Wie man sieht, kommt in Aufnahme 386 a eine größte Schwärzungsdifferenz von 1 mm vor, während im übrigen in beiden Aufnahmen die Marken auf einige zehntel Millimeter Schwärzung untereinander übereinstimmen.

Die Genauigkeit unserer Intensitäts-Skala hängt bei konstanter absoluter Intensität ab von der Genauigkeit, mit welcher sich die Winkel am rotierenden Sektor einstellen lassen. Die zur Einstellung der Winkel dienende Teilung befand sich in 14 cm Entfernung von der Achse der Sektorscheiben. Wenn man annimmt, daß die Einstellung dieser Teilung auf 0,3 mm genau

ausführbar ist, so bekommt man eine Ungenauigkeit in der Winkeleinstellung von ± 7,4 Minuten. Dieser gegenüber spielt der bei der Winkelausmessung am Goniometer begangene größte Fehler von einigen Sekunden keine Rolle. Unsere Intensitäts-Skala ist demnach bei Sektorstellung 1 (s. Tab. 1) mit einem Fehler von 0,14 % und bei Sektorstellung 28 mit einem Fehler von 1,95 % behaftet.

Die Größe des bei der Ausmessung der Schwärzungen am Mikrophotometer auftretenden Fehlers richtet sich nach der Stärke der jeweiligen Schwärzung. Ein beliebig aus der Messungen herausgegriffenes Beispiel möge dies näher erläutern. Jede Einstellung am Photometerkeil wurde fünfmal ausgeführt und aus den so erhaltenen Zahlen das arithmetische Mittel gezogen. Man bekam so in einem speziellen Falle für eine schwache, mittlere und starke Schwärzung folgende Werte in mm Keil:

a)	Δ	b)	Δ	c)	Δ
70,2	± 0,0	36,4	− 0,1	25,0	− 0,7
69,8	− 0,4	36,6	+ 0,1	25,5	− 0,2
69,0	− 1,2	36,5	± 0,0	26,3	+ 0,6
71,0	+ 0,8	36,6	+ 0,1	25,5	− 0,2
71,0	+ 0,8	36,2	− 0,3	26,1	+ 0,4
70,2		36,5		25,7	

Wie man sieht, stimmen die Einzelmessungen von b) am besten untereinander überein, während bei a), eine sehr starken Schwärzung, und bei c), einer Schwärzung, die nicht weit vom Plattenschleier entfernt ist, Abweichungen der Messungen untereinander von über 1 mm vorkommen. Aus den Abweichungen Δ der Einzelmessungen vom Mittelwert berechnet sich der mittlere Fehler des letzteren

für a) zu 0,4 mm
für b) zu 0,08 mm
für c) zu 0,2 mm.

Bei der der vorliegenden Aufnahme entsprechenden Gestalt der Intensität-Schwärzungskurve liefern diese Schwärzungsdifferenzen Intensitätsunterschiede von

a) 2 % b) 1 % c) 2 %

Fassen wir die Ergebnisse unserer Betrachtungen nochmals zusammen, so sehen wir: Es verursacht einen Fehler von

4 —8 % die Inkonstanz der Plattenempfindlichkeit
0,1—2 % die Ungenauigkeit der Intensitätsskala,
1 —2 % die Ungenauigkeit der Schwärzungsmessung.

Nehmen wir also den ungünstigsten Fall an, daß unsere Fehler sich alle addieren, so sehen wir, daß die einzelne Intensitätsmessung mit einem Fehler von 5—12 % behaftet ist. Bei der Berechnung unseres Schwächungsfaktors wird sich im allgemeinen dieser Fehler noch verringern, unter Umständen kann er sich aber auch, wenn die zur Division gelangenden Intensitäten gerade nach entgegengesetzten Richtungen falsch gemessen sind, vergrößern, sodaß wir unter Umständen mit Fehlern von 10—24 % rechnen müßten. Dieser extrem ungünstige Fall wird jedoch selten vorkommen. Wie ein Blick auf die unten angegebenen Meßresultate zeigt, bewegen sich in den meisten Fällen die Fehler innerhalb einer Grenze von 1—5 %. Nur in den allerseltensten Fällen ist ein Fehler von über 5 % bemerkbar.

VII. Die Versuche und ihre Ergebnisse.

Nachdem wir die zu den Versuchen benutzte Versuchsanordnung beschrieben und uns ein Bild davon gemacht haben, welche Gesichtspunkte wir zur Beurteilung der Genauigkeit der endgültigen Resultate zu beobachten haben, wollen wir uns nunmehr zu den Versuchen selbst wenden. Dieselben gestalteten sich gemäß der in Abschnitt II angegebenen Versuchsmethode folgendermaßen:

Nachdem die Versuchsanordnung in der oben beschriebenen Weise für die gewünschte Wellenlänge eingestellt worden war, wurde letztere mittels der in der Kamera des Spektrographen dicht vor der Ebene der photographischen Platte angebrachten Blende B aus dem Gesamtspektrum ausgeblendet. Höhe und Breite der Blendenöffnung richteten sich nach der Größe des Spaltbildes und waren so gewählt, daß die zur Erzeugung des Bildes beitragenden Strahlen eben hindurchgelassen wurden

Dadurch wurden die gerade nicht benutzten Stellen der photographischen Platte vor der Belichtung durch Streulicht geschützt, sodaß jede Einzelaufnahme an eine noch vollkommen unbelichtete Stelle der Platte zu stehen kam.

Die Orientierung im Spektrum erfolgte an Hand der Spektrogramme von Küch u. Retschinsky[1]) und der Tabellen von Eder u. Valenta.[2]) Letzteren sind auch die Angaben der Wellenlängen entnommen.

Die so isolierte Spektrallinie wurde auf ein und derselben Platte während der gleichen Expositionsdauern T unter verschiedenen Versuchsbedingungen aufgenommen:

1. Zur Herstellung der Sektormarken:
   a) einmal ohne rotierenden Sektor (also mit einer Winkelöffnung des Sektors von 360°),
   b) durch den rotierenden Sektor hindurch bei konstanter Tourenzahl mehrmals unter Benutzung verschiedener allmählich abnehmender Öffnungswinkel;
2. Ohne rotierenden Sektor zur Ermittelung des Schwächungsfaktors der Kreuzblende:
   a) ohne Einschaltung der Kreuzblende in den Strahlengang,
   b) mit Kreuzblende in Stellung I (s. Figur 3 b),
   c) mit Kreuzblende in Stellung II (s. Figur 3 c),
   d) ohne Kreuzblende.

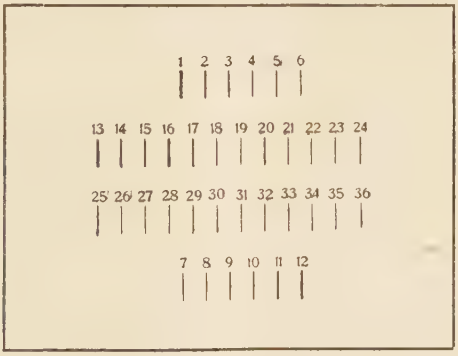
Die Gruppe 2 wurde unter Benutzung verschiedener, während der vier Einzelaufnahmen a—d natürlich konstanter, Intensitäten ausgeführt, deren Größe nicht bekannt zu sein brauchte, deren Schwärzungen jedoch durch Probeaufnahmen so zu ermitteln waren, daß sie sich über die ganze durch die Sektormarken gegebene Schwärzungsskala verteilen. Die Herstellung derselben erfolgte durch Einschalten von Absorbtionsplatten in den Strahlengang zwischen Lichtquelle und Spiegel H_1, oder durch Belastungsänderung der Lampe. Auf diese Weise wird erreicht, daß der

[1]) Küch u. Retschinsky, Ann. d. Phys. 22. S. 852, 1907.

[2]) Eder u. Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse, Wien 1904.

Durchmesser des wirksamen Strahlenbündels bei allen Einzelaufnahmen derselbe ist, was den Vorteil gewährt, daß Fehler in der Messung, welche durch Fluoreszenz der Quarzlinsen entstehen können, eliminiert werden. Etwaige Ungleichheiten in der Intensitätsverteilung innerhalb der Strahlenbündel, die durch Einschalten der Absorptionsplatten verursacht werden können, werden dadurch unschädlich gemacht, daß die Kreuzblende in den einander korrespondierenden Stellungen I und II benutzt und aus den beiden so erhaltenen Schwächungsfaktoren das arithmetische Mittel gebildet wird. Als Ausgangsintensität für die verschiedenen Aufnahmegruppen 2 diente die gleiche Intensität, welche zur Aufnahme der Sektormarken verwendet wurde.[1])

Die Verteilung der einzelnen Aufnahmen über die Platte erfolgte, um eine Kontrolle über die Konstanz der Plattenempfindlichkeit und Lichtintensität zu haben, nach dem folgenden Schema:



1—6, 7—12 Sektormarken,
13, 16; 17, 20 u. s. f. ohne Kreuzblende,
14, 15; 18, 19 u. s. f. mit Kreuzblende.

Die verschiedenen Schwärzungen der einzelnen Marken sind in demselben durch verschiedene Breite der Linien angedeutet. Die Sektormarken wurden doppelt auf jeder Platte aufgenommen und zwar dicht hintereinander entweder bei Beginn oder am

[1]) vgl. hierzu die Ausführungen auf S. 12ff.

Ende jeder Versuchsreihe. Zwischen die beiden Sektormarkenreihen kamen die übrigen Aufnahmen zu stehen.

Nach Ausmessung der verschiedenen Einzelaufnahmen am Mikrophotometer wurde aus den Schwärzungen der Sektormarken in der auf S. 8 angegebenen Weise eine Intensität-Schwärzungskurve konstruiert und an dieser die Intensität der den übrigen Marken entsprechenden Schwärzungen interpoliert. Die aus diesen Intensitäten bestimmten Werte des Schwächungsfaktors der Kreuzblende sind sodann hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit dem aus den geometrischen Dimensionen der Blende berechneten zu prüfen, wobei auf die S. 13—14 angegebenen Punkte besonders zu achten ist.

Die Versuche wurden nach drei Gesichtspunkten ausgeführt:

1. Es wurde bei gleicher Tourenzahl des rotierenden Sektors und gleicher Expositionsdauer die Wellenlänge und Plattensorte variiert.
2. Unter Beibehaltung der gleichen Expositionsdauer, Wellenlänge und Plattensorte wurde die Tourenzahl geändert. Angeschlossen wurden hier noch einige Versuche über den Einfluß der Größe des Verhältnisses Licht: Pause und der Anzahl der Einzelbelichtungen auf die Wirkung der intermittierenden Belichtung.
3. Bei konstanter Tourenzahl, Wellenlänge und Plattensorte wurde die Expositionszeit variiert.

Die Ausführung der einzelnen Versuchsreihen ist im folgenden näher beschrieben und das jeweils erhaltene Meßresultat in Tabellen zusammengestellt. Wenn diese Angaben in vielleicht zu großer Ausführlichkeit gemacht sind, so ist dies aus dem Grunde geschehen, um jedermann in die Lage zu setzen, die Messungen nachzuprüfen und aus eigener Anschauung an Hand der einzelnen Meßresultate sich ein Urteil über die behandelte Frage zu bilden.

1. Die Abhängigkeit der Versuchsresultate von der Wellenlänge und Plattensorte.

Die Untersuchung dieses Punktes nahm den weitaus größten Teil der Versuche in Anspruch. Da zunächst der ultraviolette

Teil des Spektrums am meisten interessierte, wurden die Versuche mit der Wellenlänge $\lambda = 334{,}2\ \mu\mu$ und $\lambda = 248{,}2\ \mu\mu$ begonnen und sodann auf das sichtbare Spektrum ausgedehnt. Soweit angängig, wurden zu den Aufnahmen folgende Plattensorten benutzt:

Hauff Extra-Rapid-Hochempfindlich.
Schleußner Special-Rapid, blaues Etikett.
Lumière Sigma-Platte.

Vom grünen Teil des Spektrums an wurden sensibilisierte Platten verwendet.

Die Entwicklungsdauer betrug bei Hauff-Platten unter Zusatz vom 10 Tropfen Bromkali auf 60 ccm Entwicklerlösung 10 Minuten. Bei den Schleußner- und Lumière-Platten mußte die Entwicklung bereits nach 6 Minuten beendet werden, um schleierfreie Negative zu bekommen. Die sensibilisierten Platten wurden 10 Minuten lang entwickelt.

Die Umdrehungsgeschwindigkeit des rotierenden Sektors betrug bei sämtlichen zur Anwendung gelangenden Wellenlängen 1890 Touren pro Minute, die Expositionsdauer 60 Sekunden.

a) Wellenlänge $\lambda = 334{,}2\ \mu\mu$.

Da es sich zunächst darum handelte, überhaupt die Gültigkeit des zu prüfenden Photometrierverfahrens unter irgendwelchen Bedingungen nachzuweisen und etwa vorhandene Fehler in der Versuchsanordnung zu ermitteln, wurde für diese zuerst benutzte Wellenlänge eine große Anzahl von Aufnahmen gemacht. Denn eine richtige Beurteilung mancher Erscheinung ist nur durch mehrmalige Wiederholung derselben Aufnahme möglich, vor allem erlaubt nur eine Häufung der gleichen Messung ein Urteil darüber, ob ein vorhandener Fehler als reell oder aus den Eigenschaften der Platte bedingt anzusehen ist. Hat man sich auf diese Weise einmal einen richtigen Überblick über die einzelnen Verhältnisse, vor allem über den Einfluß von Plattenfehlern verschafft, so wird bei weiteren Versuchen auch an Hand einer geringeren Anzahl von Aufnahmen ein richtiges Urteil über die erhaltenen Ergebnisse möglich sein.

Die Resultate der mit den drei genannten Plattensorten gemachten verschiedenen Aufnahmen sind in den Tabellen 3—5 zusammengestellt. In diesen enthält Kolonne 1 die Nummer der jeweiligen Aufnahme, entnommen der fortlaufenden Numerierung der Versuche im Beobachtungsjournal, Kolonne 2 die zugehörigen nach dem Talbotschen Gesetz berechneten relativen Intensitäten (i). Kolonne 3 enthält das Mittel aus den Schwärzungen der doppelt aufgenommenen Sektormarken (s). S_0 ist das Mittel der Schwärzungen der ohne Kreuzblende, S_1 bezw. S_2 die Schwärzung der mit Kreuzblende aufgenommenen Spaltbilder. J_0, J_1 und J_2 sind die diesen Schwärzungen entsprechenden Intensitäten, interpoliert an der Sektormarkenkurve. Die verschiedenen Intensitäten J_0 wurden im vorliegenden Falle durch Benutzung von Spiegelglasplatten als Absorbtionsplatten hergestellt. α_1 und α_2 sind die Schwächungsfaktoren der Kreuzblende für die Stellungen I und II, berechnet aus den Intensitäten J_1 und J_0, bezw. J_2 und J_0. α ist das arithmetische Mittel aus α_1 und α_2. Die letzte Kolonne endlich enthält die Abweichungen der Werte α von dem aus den geometrischen Dimensionen der Kreuzblende berechneten Schwächungsfaktor derselben, angegeben in Prozenten des letzteren.

Wie man sieht, stimmen alle Werte α, insbesondere der zur Intensität $J_0 = i = 100$ gehörige, auf den es nach den Ausführungen auf S. 12 ff. vor allem ankommt, mit dem zu erwartenden Werte 0,505 (s. S. 17) innerhalb der Meßfehlergrenze überein. Was die Werte α_1 und α_2 betrifft, so ist bei ihrer Beurteilung gegeneinander zu beachten, daß sie von der Intensitätsverteilung innerhalb des Querschnittes des wirksamen Strahlenbündels beeinflußt sind. Ist dieselbe eine ungleichmäßige, so wird vermöge der geometrischen Beschaffenheit der Kreuzblende ihr Schwächungsfaktor in den beiden Stellungen I und II ein verschiedener sein, nämlich einmal größer und einmal kleiner als der wahre Wert. Der letztere ist erst durch die Mittelbildung gegeben. Dieses Verhalten der beiden Werte α_1 und α_2 gegeneinander wird natürlich durch die Versuchsfehler modifiziert, so daß in dem genannten Falle beide Werte unter Umständen sowohl größer als auch kleiner wie der wirkliche sein können.

Eine systematische Abhängigkeit der α von der Intensität

Tabelle 3.

$\lambda = 334{,}2\ \mu\mu$. Hauff-Extra-Rapid-Platte.

Nr. der Aufnahme	Sektor-Marken		Ohne Kreuzblende		Mit Kreuzblende in Stellung I			Mit Kreuzblende in Stellung II			α *Mittel*	Fehler in %
	i	s	S_0	J_0	S_1	J_1	α_1	S_2	J_2	α_2		
	100,0	57,8	57,8	100,0	48,0	50,0	0,500	48,4	51,5	0,515	*0,508*	+0,6
354	48,8	47,7	48,4	51,5	39,9	25,8	0,501	40,7	27,6	0,536	*0,519*	+2,8
Gesamt-	37,0	44,0	44,9	39,2	86,7	20,0	0,510	37,0	20,5	0,523	*0,517*	+2,4
mittelwert	23,6	38,9	41,1	28,6	33,1	15,0	0,525	33,3	15,3	0,535	*0,530*	+5,0
$\alpha = 0{,}525$	13,6	32,0	36,3	19,4	29,4	10,9	0,562	29,8	11,3	0,583	*0,573*	+13,5
	8,6	27,1	38,1	22,4	29,6	11,0	0,492	29,7	11,4	0,509	*0,501*	−0,8
	100,0	57,5	57,5	100,0	47,9	50,6	0,506	48,0	51,0	0,510	*0,508*	+0,6
355	48,8	47,4	50,0	59,5	41,8	31,0	0,522	41,4	30,0	0,504	*0,513*	+1,6
Gesamt-	38,7	43,8	45,2	41,0	37,8	21,9	0,534	37,2	20,8	0,508	*0,521*	+3,2
mittelwert	23,6	39,3	42,4	32,5	35,1	17,5	0,539	34,4	16,5	0,508	*0,524*	+3,8
$\alpha = 0{,}512$	13,6	31,8	38,9	24,1	30,5	12,3	0,510	29,8	11,6	0,482	*0,496*	−1,8
	8,6	26,2	36,4	19,4	28,1	10,2	0,527	27,2	9,5	0,490	*0,509*	+0,8
	100,0	57,5	57,5	100,0	48,0	50,0	0,500	47,6	48,2	0,482	*0,491*	−2,8
356	48,8	47,0	48,6	52,2	41,7	29,0	0,556	40,5	26,0	0,498	*0,527*	+4,4
Gesamt-	38,7	45,1	45,9	41,9	38,4	21,2	0,506	37,4	19,5	0,466	*0,486*	−3,8
mittelwert	23,6	39,6	52,0	68,5	43,6	34,3	0,501	43,2	33,1	0,483	*0,492*	−2,6
$\alpha = 0{,}504$	13,6	33,6	41,6	28,6	34,9	15,6	0,546	33,8	14,2	0,497	*0,522*	+3,4
	8,6	28,1	37,2	19,1	29,9	10,0	0,524	28,8	9,1	0,477	*0,501*	−0,8
	100,0	56,8	56,8	100,0	47,8	49,8	0,498	47,9	50,0	0,500	*0,499*	−1,2
359	48,8	47,6	52,3	69,5	43,4	35,6	0,512	42,6	33,5	0,482	*0,497*	−1,6
Gesamt-	38,7	44,4	48,6	52,7	40,3	27,6	0,523	40,5	28,1	0,533	*0,528*	+4,6
mittelwert	23,6	38,6	44,5	39,0	36,8	19,8	0,508	36,8	19,8	0,508	*0,508*	+0,6
$\alpha = 0{,}508$	13,6	32,3	39,7	26,0	31,5	13,0	0,500	31,8	13,2	0,508	*0,504*	−0,2
	8,6	25,7	37,8	21,6	29,2	11,1	0,514	29,0	11,0	0,510	*0,512*	+1,4
	100,0	55,5	55,5	100,0	46,8	51,2	0,512	46,5	50,0	0,500	*0,506*	+0,2
360	48,8	46,4	51,2	72,0	42,8	36,5	0,507	42,4	35,0	0,487	*0,497*	−1,6
Gesamt-	38,7	43,2	47,8	55,5	40,4	29,1	0,524	39,8	27,6	0,489	*0,507*	+0,4
mittelwert	22,0	37,6	42,7	36,3	35,9	19,0	0,524	35,9	19,0	0,523	*0,524*	+3,8
$\alpha = 0{,}507$	13,6	31,1	39,8	27,5	31,9	13,9	0,506	31,5	13,5	0,491	*0,499*	−1,2
	8,6	25,2	36,9	20,9	28,6	11,0	0,528	27,7	10,2	0,488	*0,508*	+0,6
371	100,0	62,5	62,5	100,0	53,4	53,0	0,530	52,8	50,8	0,508	*0,519*	+2,8
Neue Emulsi-	48,8	52,4	57,9	74,2	49,6	39,1	0,527	48,7	36,3	0,489	*0,508*	+0,6
onsnummer	38,7	49,2	55,1	60,7	45,3	26,6	0,439	44,9	25,6	0,422	*0,431*	−14,7
Gesamt-	23,6	44,2	48,3	35,0	41,3	17,8	0,508	40,8	17,0	0,487	*0,498*	−1,4
mittelwert	13,6	38,9	44,0	23,5	37,7	12,0	0,511	38,0	12,5	0,532	*0,522*	+3,4
$\alpha = 0{,}496$	8,6	34,4	41,8	18,8	35,4	9,3	0,495	35,5	9,4	0,500	*0,498*	−1,4

Tabelle 4.

$\lambda = 334{,}2\ \mu\mu$. Schleußner-Spezial-Rapid-Platte.

Nr. der Aufnahme	Sektor-Marken		Ohne Kreuzblende		Mit Kreuzblende in Stellung I			Mit Kreuzblende in Stellung II			α *Mittel*	Fehler in %
	i	s	S_0	J_0	S_1	J_1	α_1	S_2	J_2	α_2		
	100,0	56,9	56,9	100,0	47,8	51,0	0,510	47,6	50,4	0,504	*0,507*	+ 0,4
364	48,8	47,2	52,4	71,0	42,9	36,5	0,514	42,1	34,5	0,487	*0,501*	− 0,8
Gesamt-	38,7	43,6	48,0	52,0	38,7	26,6	0,512	38,6	26,5	0,511	*0,512*	+ 1,4
mittelwert	23,6	37,3	43,1	37,0	34,3	19,0	0,514	33,8	18,3	0,495	*0,505*	± 0,0
$\alpha = 0{,}506$	13,6	30,5	38,9	27,0	30,6	14,0	0,519	30,0	13,4	0,496	*0,508*	+ 0,6
	8,6	25,5	35,4	20,5	27,2	10,1	0,493	27,3	10,3	0,503	*0,498*	− 1,4
	100,0	52,0	50,5	89,3	42,8	47,0	0,526	42,1	44,5	0,498	*0,512*	+ 1,4
365	48,8	43,2	47,1	67,9	39,5	35,1	0,517	38,5	32,0	0,472	*0,495*	− 2,0
Gesamt-	38,7	40,8	43,1	48,3	34,8	22,6	0,468	35,4	24,0	0,497	*0,483*	− 4,4
mittelwert	23,6	35,5	34,8	22,6	26,3	11,1	0,492	25,7	10,6	0,470	*0,481*	− 4,8
$\alpha = 0{,}495$	13,6	29,1	30,4	15,5	21,7	7,6	0,490	22,4	8,0	0,516	*0,503*	− 0,4
	8,6	22,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
366												
Entwicklungs-	100,0	60,8	60,8	100,0	52,3	51,5	0,515	51,6	48,8	0,488	*0,502*	− 0,6
dauer abwei-	48,8	51,6	57,3	74,0	47,6	37,5	0,507	47,1	36,4	0,492	*0,500*	− 1,0
chend 10′ mit	38,7	47,8	53,6	56,5	43,4	28,0	0,496	42,5	26,0	0,460	*0,478*	− 5,4
20 Tropfen	23,6	41,3	47,1	36,4	38,0	18,6	0,511	38,2	19,0	0,522	*0,517*	+ 2,4
Bromkali	13,6	33,8	42,7	26,4	33,9	13,8	0,522	33,5	13,4	0,508	*0,515*	+ 2,0
Gesamt-	8,6	27,8	40,2	22,0	31,1	11,1	0,505	30,7	10,8	0,491	*0,498*	− 1,4
mittelwert												
$\alpha = 0{,}502$												
372												
Entwicklungs-	100,0	62,8	62,8	100,0	53,8	52,5	0,525	53,4	51,0	0,510	*0,518*	+ 2,6
dauer abwei-	48,8	52,6	57,8	70,0	48,5	37,0	0,529	48,3	36,5	0,521	*0,525*	+ 4,0
chend 10′ mit	38,7	48,3	53,6	51,9	43,6	26,3	0,507	43,3	25,6	0,494	*0,501*	− 0,8
20 Tropfen	23,6	42,1	47,4	34,5	38,5	17,7	0,513	37,9	16,8	0,487	*0,500*	− 1,0
Bromkali	13,6	35,5	43,3	25,6	34,7	12,6	0,492	35,0	13,0	0,509	*0,501*	− 0,8
Gesamt-	8,6	30,1	38,5	17,6	31,7	9,6	0,545	31,1	9,0	0,511	*0,528*	+ 4,6
mittelwert												
$\alpha = 0{,}512$												

Tabelle 5.

$\lambda = 334{,}2\ \mu\mu$. Lumière-Sigma-Platte.

Nr. der Aufnahme	Sektor-Marken		Ohne Kreuzblende		Mit Kreuzblende in Stellung I			Mit Kreuzblende in Stellung II			α *Mittel*	Fehler in %
	i	s	S_0	J_0	S_1	J_1	α_1	S_2	J_2	α_2		
	100,0	61,3	61,3	100,0	49,7	50,0	0,500	49,6	49,8	0,498	*0,499*	− 1,2
375	48,8	49,5	55,1	71,0	45,6	37,0	0,521	45,1	35,6	0,501	*0,511*	+ 1,2
Gesamt-	38,7	46,2	51,7	57,3	42,6	29,1	0,508	42,0	27,9	0,488	*0,498*	− 1,4
mittelwert	23,6	40,1	44,1	33,0	36,6	17,3	0,525	36,0	16,4	0,497	*0,511*	+ 1,2
$\alpha = 0{,}498$	13,6	34,0	41,4	26,4	33,4	13,0	0,493	33,3	12,9	0,489	*0,491*	− 2,8
	8,6	28,6	37,4	18,5	28,7	8,7	0,470	28,9	8,9	0,481	*0,476*	− 5,9
	100,0	58,1	58,1	100,0	48,3	51,6	0,516	48,6	52,9	0,529	*0,523*	+ 3,6
377	48,8	47,6	53,8	76,4	44,8	39,0	0,511	44,0	36,5	0,478	*0,495*	− 2,0
Gesamt-	38,7	44,6	49,2	55,3	41,1	28,3	0,512	40,7	27,4	0,496	*0,504*	− 0,2
mittelwert	23,6	39,3	43,2	34,0	35,7	17,5	0,515	35,3	16,8	0,494	*0,505*	+ 0,0
$\alpha = 0{,}508$	13,6	32,7	38,4	22,0	30,9	11,6	0,528	31,0	11,7	0,532	*0,530*	+ 5,0
	8,6	27,7	36,0	18,0	28,0	9,0	0,500	27,7	8,6	0,478	*0,489*	− 3,2
	100,0	57,7	57,7	100,0	48,7	50,0	0,500	48,5	49,3	0,493	*0,497*	− 1,6
378	48,8	48,4	53,2	70,5	44,4	35,5	0,503	43,8	33,9	0,481	*0,492*	− 2,6
Gesamt-	38,7	45,5	49,0	51,0	40,7	26,0	0,510	40,5	25,5	0,500	*0,505*	+ 0,0
mittelwert	23,6	39,6	43,6	33,1	36,4	17,0	0,513	35,5	15,5	0,468	*0,491*	− 2,8
$\alpha = 0{,}501$	13,6	34,7	40,0	24,3	33,3	12,3	0,507	33,4	12,4	0,510	*0,509*	+ 0,8
	8,6	29,7	36,2	16,6	29,8	8,7	0,524	29,2	8,3	0,500	*0,512*	+ 1,4
	100,0	58,7	58,7	100,0	48,9	52,6	0,526	48,6	51,5	0,515	*0,521*	+ 3,2
379	48,8	48,2	53,4	72,2	44,4	36,9	0,511	44,0	35,5	0,492	*0,502*	− 0,6
Gesamt-	38,7	44,9	48,7	52,0	40,5	26,0	0,500	39,8	24,4	0,470	*0,485*	− 4,0
mittelwert	23,6	39,6	43,5	34,1	36,2	17,0	0,499	35,2	15,3	0,450	*0,475*	− 5,9
$\alpha = 0{,}496$	13,6	34,2	40,4	25,6	33,1	12,3	0,481	33,0	12,1	0,473	*0,478*	− 5,4
	8,6	29,4	36,0	16,6	29,3	8,5	0,512	29,4	8,6	0,518	*0,515*	+ 2,0

ist nicht zu bemerken. Sämtliche Fehler verteilen sich gleichmäßig nach der positiven und negativen Seite. Es ist demnach gestattet, aus sämtlichen aus einer Platte gewonnenen 6 Resultaten das Mittel zu bilden. Dasselbe ist in der ersten Kolonne der Tabellen angegeben. Wie man sieht, weicht dasselbe vom berechneten Wert des Schwächungsfaktors im Durchschnitt um weniger als 1 % ab.

Ein Einfluß der benutzten Plattensorte auf das Resultat läßt sich ebenfalls nicht feststellen. Größe und Verteilung der Fehler zeigt bei allen drei Plattensorten denselben Charakter. Das ist einigermaßen überraschend, da vor allem bei der Sigma-Platte, die annähernd die doppelte Empfindlichkeit für die benutzte Wellenlänge besaß, als die Hauff- und Schleußner-Platte, ein derartiger Einfluß zu erwarten war. Denn die Wirkung der intermittierenden Belichtung soll ja in hohem Grade von der Empfindlichkeit der Platte abhängen.[1]) Mithin müßte also auch unsere Sektormarkenkurve durch dieselbe beeinflußt werden und somit die an ihr gemessenen Intensitätsverhältnisse.

Auf Grund unserer Versuchsresultate sind wir also berechtigt, für den vorliegenden speziellen Fall die Frage nach der Anwendungsmöglichkeit des rotierenden Sektors zur photographischen Photometrie in positivem Sinne zu beantworten.

Über die in den Tabellen nicht angeführten Aufnahmen ist zu sagen, daß dieselben teils aus den auf S. 31 genannten Gründen verworfen wurden, teils zur Ermittelung der für jede der benutzten Plattensorten bei der vorgeschriebenen Expositionsdauer von 60 Sekunden günstigsten Lampenbelastung dienten. Dasselbe gilt für die weiter unten noch anzugebenden Tabellen. Erwähnt seien auch noch 4 Aufnahmen, die unter Anwendung von Lumière-blau-Etiquette-Platten gemacht wurden. Das Resultat war das gleiche, wie das obige. Da jedoch die Expositionsdauer wegen der geringen Plattenempfindlichkeit zu 2 Minuten angenommen werden mußte, sind die einzelnen Zahlenwerte als nicht in die vorliegende Versuchsreihe passend, nicht angegeben.

---

[1]) Englisch, Arch. f. wiss. Photogr. S. 117 ff., 1893.

b) Wellenlänge $\lambda = 248{,}2\ \mu\mu$.

Diese Linie hat in unmittelbarer Nähe zwei Nachbarlinien: die Linie $\lambda = 247{,}8\ \mu\mu$, sowie eine weitere, deren Wellenlänge durch Anschluß an die wohldefinierten Nachbarlinien zu ungefähr $\lambda = 248{,}4\ \mu\mu$ bestimmt wurde und die weder in den Tabellen von Eder und Valenta,[1]) noch auf den Spektrogrammen von Küch und Retschinsky zu finden ist. Um die Linie 248,2 $\mu\mu$ getrennt zu erhalten, wäre eine so kleine Spaltbreite nötig gewesen, daß eine Schwärzungsmessung am Mikrophotometer unmöglich geworden wäre. In diesem Falle wurde nämlich das im Photometerwürfel befindliche rechteckige Feld von dem durch das Mikroskop entworfenen Bilde der Linie auf der Platte nicht vollkommen ausgefüllt, sondern es zeigten sich beim Hineinblicken ins Photometer zu beiden Seiten der Linie die hellen Streifen des Plattenschleiers, so daß eine Einstellung auf gleiche Schwärzung am Keil nicht möglich war. Der Spalt des Spektrographen wurde daher so weit geöffnet, daß die den 3 verschiedenen Wellenlängen entsprechenden Spaltbilder sich teilweise überdeckten. Dies ist nur unter drei Voraussetzungen erlaubt: nämlich, daß einmal die photographische Platte für die drei Wellenlängen monochromatisch ist, daß die Schnittweite der Strahlen für die drei Spaltbilder praktisch dieselbe ist und daß ferner das resultierende Spaltbild eine gleichmäßige Schwärzungsverteilung aufweist.[2]) Die ersten beiden Voraussetzungen sind wohl ohne weiteres erfüllt, da es sich nur um Wellenlängendifferenzen von einigen Å. E. handelt, innerhalb deren die Platte sicherlich ihre Empfindlichkeit nicht ändert und für welche die Verschiedenheit des Brechungsindex der Linsen so gering ist, daß sie auf die Brennweite praktisch keinen Einfluß ausübt. Die dritte Voraussetzung war erst näher zu prüfen. Zu diesem Zwecke wurde die Schwärzung des Spaltbildes als Funktion seiner Breite bei einer Anzahl von Aufnahmen, die bei ver-

[1]) Wenigstens unter den Wellenlängenangaben für das Bogenspektrum. Im Hg-Spektrum von Geißlerröhren finden sich nach Eder und Valenta die Linien $\lambda = 247{,}88$, 248,21 248,29 u. 248,39 $\mu\mu$.

[2]) vgl. hierzu S. 24 Mitte.

Tabelle 6.

$\lambda = 248{,}2\ \mu\mu$. Hauff-Extra-Rapid-Platte.

Nr. der Aufnahme	Sektor-Marken		Ohne Kreuzblende		Mit Kreuzblende in Stellung I			Mit Kreuzblende in Stellung II			α *Mittel*	Fehler in %
	i	s	S_0	J_0	S_1	J_1	α_1	S_2	J_2	α_2		
	100,0	57,2	57,2	100,0	48,4	49,5	0,495	48,5	50,0	0,500	*0,498*	− 1,4
405	48,8	48,2	49,0	52,0	41,9	26,0	0,500	42,0	26,4	0,508	*0,504*	− 0,2
Gesamt-	38,7	45,7	46,3	41,0	40,0	21,3	0,519	39,4	20,0	0,488	*0,504*	− 0,2
mittelwert	23,6	41,0	43,6	31,3	37,2	16,0	0,511	37,0	15,6	0,498	*0,505*	± 0,0
$\alpha = 0{,}504$	13,6	35,5	40,0	21,3	32,5	10,2	0,479	33,1	10,8	0,507	*0,493*	− 2,4
	8,6	30,8	38,1	17,5	31,1	8,9	0,508	31,4	9,2	0,526	*0,517*	+ 2,4
	100,0	56,5	56,5	100,0	48,0	50,0	0,500	48,0	50,0	0,500	*0,500*	− 1,0
406	48,8	47,7	50,1	60,5	42,5	29,9	0,494	42,7	30,3	0,501	*0,498*	− 1,4
Gesamt-	38,7	45,5	46,1	41,5	38,9	21,3	0,513	38,7	20,9	0,504	*0,509*	+ 0,8
mittelwert	23,6	41,0	44,0	34,0	36,8	17,3	0,509	37,2	18,0	0,530	*0,520*	+ 3,0
$\alpha = 0{,}510$	13,6	34,5	40,9	25,8	34,2	13,1	0,508	34,5	13,6	0,527	*0,518*	+ 2,6
	8,6	29,8	37,4	18,4	31,1	9,5	0,516	31,0	9,4	0,511	*0,514*	+ 1,8
	100,0	55,1	55,1	100,0	46,8	51,8	0,518	46,5	50,3	0,503	*0,511*	+ 1,2
409	48,8	46,2	48,3	59,0	41,2	29,9	0,507	41,1	29,5	0,500	*0,504*	− 0,2
Gesamt-	38,7	43,7	44,0	40,0	38,9	23,5	(0,588)	38,9	23,5	(0,588)	*(0,588)*	(+ 16,4)
mittelwert	23,6	39,0	42,1	32,8	35,2	16,0	0,488	36,1	17,5	0,533	*0,511*	+ 1,2
$\alpha = 0{,}501$	13,6	33,4	40,1	26,6	33,6	13,6	0,512	33,2	13,0	0,489	*0,501*	− 0,8
	8,6	29,8	37,4	20,0	30,3	9,8	0,480	30,3	9,8	0,480	*0,480*	− 5,0
	100,0	56,2	56,2	100,0	48,2	50,7	0,507	48,1	50,3	0,503	*0,505*	± 0,0
410	48,8	47,7	50,0	60,0	42,7	29,2	0,487	42,4	28,1	0,468	*0,478*	− 5,4
Gesamt-	38,7	45,6	45,8	40,0	38,5	18,0	0,450	38,7	18,5	0,463	*0,457*	− 9,5
mittelwert	23,6	40,8	43,4	31,4	37,8	16,5	0,526	37,3	15,5	0,494	*0,510*	+ 1,0
$\alpha = 0{,}494$	13,6	36,2	40,8	23,6	35,4	12,5	0,530	35,3	12,3	0,521	*0,526*	+ 4,2
	8,6	32,2	38,2	17,4	32,4	8,6	0,499	32,2	8,4	0,483	*0,489*	− 3,2
	100,0	54,7	54,7	100,0	46,7	51,6	0,516	46,5	50,8	0,508	*0,512*	+ 1,4
411	48,8	46,1	48,9	63,0	42,3	33,4	0,530	41,7	31,3	0,497	*0,514*	+ 1,8
Gesamt-	38,7	43,7	44,1	40,1	38,0	21,0	0,524	37,6	20,0	0,499	*0,512*	+ 1,4
mittelwert	23,6	39,2	43,3	37,0	37,0	18,9	0,511	36,6	18,1	0,490	*0,501*	− 0,8
$\alpha = 0{,}513$	13,6	33,2	39,2	24,0	32,7	12,3	0,513	32,4	11,9	0,496	*0,505*	± 0,0
	8,6	29,7	37,1	19,1	30,7	10,0	0,523	31,0	10,4	0,545	*0,534*	+ 5,7

Tabelle 7.

$\lambda = 248{,}2\ \mu\mu$. Schleußner-Spezial-Rapid-Platte.

Nr. der Aufnahme	Sektor-Marken		Ohne Kreuzblende		Mit Kreuzblende in Stellung I			Mit Kreuzblende in Stellung II			α *Mittel*	Fehler in %
	i	s	S_0	J_0	S_1	J_1	α_1	S_2	J_2	α_2		
	100,0	57,0	57,0	100,0	48,8	54,5	0,545	46,4	45,5	0,455	*0,500*	− 1,0
394	48,8	47,2	50,2	60,4	41,3	30,0	0,497	41,2	29,6	0,491	*0,494*	− 2,2
Gesamt-	38,7	44,4	45,4	42,0	37,5	21,4	0,510	37,2	20,9	0,498	*0,504*	− 0,2
mittelwert	23,6	38,7	44,1	38,0	35,9	18,8	0,495	35,6	18,3	0,482	*0,487*	− 3,6
$\alpha = 0{,}497$	13,6	32,1	40,7	28,3	33,2	14,9	0,526	32,6	14,1	0,499	*0,513*	+ 1,6
	8,6	27,2	35,9	18,8	27,9	9,2	0,490	27,7	9,0	0,478	*0,484*	− 4,2
	100,0	47,6	47,6	100,0	41,6	50,8	0,508	41,4	50,0	0,500	*0,504*	− 0,2
403	48,8	41,2	43,4	60,4	35,8	30,2	0,500	35,8	30,2	0,500	*0,500*	− 1,0
Gesamt-	38,7	38,3	40,6	46,5	32,4	22,5	0,483	32,5	22,8	0,491	*0,487*	− 3,6
mittelwert	23,6	33,6	38,7	39,3	30,7	19,7	0,502	30,6	19,5	0,496	*0,499*	− 1,2
$\alpha = 0{,}501$	13,6	25,9	34,6	27,2	25,9	13,6	0,500	25,8	13,4	0,493	*0,497*	− 1,6
	8,6	19,7	31,6	21,0	23,4	10,9	0,520	23,4	10,9	0,520	*0,520*	+ 3,0
	100,0	56,8	56,8	100,0	47,7	51,5	0,515	47,4	50,0	0,500	*0,508*	+ 0,6
404	48,8	47,0	48,4	54,0	40,1	27,3	0,506	40,1	27,3	0,506	*0,506*	+ 0,2
Gesamt-	38,7	44,9	44,3	39,0	35,5	18,6	0,477	35,8	19,1	0,490	*0,484*	− 4,2
mittelwert	23,6	38,5	42,6	33,8	34,1	16,6	0,492	34,1	16,6	0,492	*0,492*	− 2,6
$\alpha = 0{,}501$	13,6	31,3	39,1	25,0	30,5	12,5	0,500	30,3	12,3	0,492	*0,496*	− 1,8
	8,6	26,6	35,8	19,1	27,9	10,0	0,524	27,7	9,8	0,513	*0,519*	+ 2,8

Tabelle 8.

$\lambda = 248{,}2\ \mu\mu$. Lumière-Sigma-Platte.

	100,0	55,3	55,3	100,0	46,3	53,7	0,537	44,9	47,6	0,476	*0,507*	+ 0,4
395	48,8	45,3	47,8	60,6	41,1	33,8	0,558	39,3	28,3	0,467	*0,513*	+ 1,6
Gesamt-	38,7	42,3	44,5	46,0	37,4	23,5	0,511	37,2	23,1	0,502	*0,507*	+ 0,4
mittelwert	23,6	37,5	43,5	42,1	36,5	21,6	0,513	36,1	20,9	0,497	*0,505*	+ 0,0
$\alpha = 0{,}500$	13,6	31,2	39,5	29,0	31,8	14,2	0,490	31,3	13,6	0,470	*0,480*	− 5,0
	8,6	26,4	35,5	19,8	27,1	9,4	0,475	27,8	10,0	0,505	*0,490*	− 3,0
	100,0	57,5	57,5	100,0	47,9	50,6	0,506	47,6	50,0	0,500	*0,503*	− 0,4
401	48,8	47,2	50,0	60,3	41,6	30,1	0,499	41,7	30,5	0,507	*0,503*	− 0,4
Gesamt-	38,7	44,5	46,4	45,4	38,2	22,3	0,491	38,7	23,3	0,513	*0,502*	− 0,6
mittelwert	23,6	38,9	44,5	38,7	36,6	19,2	0,496	36,5	19,0	0,491	*0,494*	− 2,2
$\alpha = 0{,}500$	13,6	32,6	40,5	27,5	32,2	13,0	0,473	32,4	13,4	0,488	*0,481*	− 4,8
	8,6	27,1	37,4	20,6	30,0	10,8	0,525	29,9	10,5	0,510	*0,518*	+ 2,6
	100,0	56,6	56,6	100,0	47,3	49,3	0,493	47,5	50,0	0,500	*0,497*	− 1,6
402	48,8	47,2	49,0	62,0	41,9	31,5	0,508	41,7	31,1	0,502	*0,505*	+ 0,0
Gesamt-	38,7	44,6	46,3	45,4	38,4	23,6	0,520	38,4	23,6	0,520	*0,520*	+ 3,0
mittelwert	23,6	38,4	44,6	39,5	36,6	20,5	0,520	36,2	19,8	0,502	*0,511*	+ 1,2
$\alpha = 0{,}509$	13,6	32,0	40,3	27,7	32,7	14,5	0,523	32,4	14,0	0,506	*0,515*	+ 2,0
	8,6	27,2	37,4	21,8	29,8	11,0	0,505	29,7	10,9	0,500	*0,503*	− 0,4

schiedenen Lampenbelastungen gemacht waren, bestimmt. Da diese Messungen zeigten, daß die Schwärzung des Spaltbildes über eine Breite von $^{9}/_{100}$ mm hin konstant war, so war die dritte Voraussetzung auch erfüllt und die Verwendung der drei übereinander gelagerten Linien zu unseren Versuchen einwandsfrei.

Die Herstellung der verschiedenen zur Bestimmung des Schwächungsfaktors der Kreuzblende nötigen Intensitäten erfolgte hier durch Belastungsänderung der Quecksilberlampe. Nach jeder Stromänderung mußte $^{1}/_{2}$ Stunde gewartet werden, um konstante Instensität zu bekommen.

Über das in den Tabellen 6—8 angegebene Ergebnis der verschiedenen Aufnahmen ist das Gleiche zu sagen, wie bei der Wellenlänge $\lambda = 334{,}2\ \mu\mu$. Alle Fehler bewegen sich innerhalb der durch die Versuchsmethode gegebenen Grenzen, eine systematische Abhängigkeit der Werte α von den verschiedenen Intensitäten J_0 und ein Einfluß der Plattensorte läßt sich im vorliegenden Falle ebensowenig beobachten wie oben. Zu Aufnahme 409 ist noch zu bemerken, daß der eingeklammerte Wert von $\alpha = 0{,}588$ zu verwerfen ist, weil die sonst vollkommen klare Platte gerade an der Stelle, wo sich die zur Bestimmung dieses Wertes benutzten Spaltbilder befanden, einen schwachen grauen Fleck hatte. Der große Fehler des Wertes 0,588 zeigt, welch starken Einfluß derartige Unregelmäßigkeiten in der Schicht, wenn sie auch noch so geringer Natur sind, auf die Messungen haben können.

Da die Linien noch kürzerer Wellenlänge, welche das Spektrum der Hg-Lampe noch enthielt, nicht genügend intensiv waren, so wurden die Versuche hiermit im ultravioletten Teil des Spektrums abgebrochen und zum sichtbaren Spektralgebiet übergegangen.

c) Wellenlänge $\lambda = 434{,}8\ \mu\mu$.

Zu dieser Versuchsreihe ist lediglich zu bemerken, daß die Aufnahmen 452 und 454 gemacht wurden, nachdem die gesamte Versuchsanordnung verstellt und an Hand der im Beobachtungsjournal notierten Einstellungsdaten neu eingestellt worden war (vgl. hierzu S. 52). Über die in den Tabellen 9—11 zusammen-

Tabelle 9.

$\lambda = 434{,}8\ \mu\mu$. Lumière-Sigma-Platte.

Nr. der Aufnahme	Sektor-Marken		Ohne Kreuzblende		Mit Kreuzblende in Stellung I			Mit Kreuzblende in Stellung II			α *Mittel*	Fehler in %
	i	s	S_0	J_0	S_1	J_1	α_1	S_2	J_2	α_2		
	100,0	64,0	64,0	100,0	49,2	49,6	0,496	49,5	50,5	0,505	*0,501*	− 0,8
421	48,8	48,9	51,8	57,1	39,5	28,7	0,503	39,7	29,0	0,508	*0,506*	+ 0,2
Gesamt-	38,7	44,7	45,9	41,3	34,5	21,0	0,508	34,8	21,4	0,518	*0,513*	+ 1,6
mittelwert	23,6	36,2	40,9	31,0	30,9	16,4	0,529	29,9	15,2	0,490	*0,510*	+ 1,0
$\alpha = 0{,}513$	13,6	28,3	35,2	22,0	26,1	11,6	0,527	25,7	11,3	0,514	*0,521*	+ 3,2
	8,6	21,8	31,4	17,0	21,6	9,0	0,530	21,4	8,9	0,523	*0,527*	+ 4,4
	100,0	62,5	62,5	100,0	48,4	49,4	0,494	48,7	50,2	0,502	*0,498*	− 1,4
422	48,8	48,2	49,9	53,5	37,7	26,3	0,492	38,2	27,0	0,505	*0,499*	− 1,2
Gesamt-	38,7	44,0	45,7	42,5	35,3	22,5	0,518	35,0	22,1	0,520	*0,519*	+ 2,8
mittelwert	23,6	36,0	44,4	39,5	33,5	20,2	0,512	33,1	19,8	0,502	*0,507*	− 0,4
$\alpha = 0{,}504$	13,6	27,2	41,3	32,8	30,1	16,4	0,500	29,8	16,0	0,488	*0,494*	- 2,2
	8,6	20,5	34,7	21,7	23,9	10,9	0,503	24,2	11,1	0,512	*0,508*	+ 0,6
	100,0	59,6	59,6	100,0	45,9	51,5	0,515	45,3	49,8	0,498	*0,507*	+ 0,4
423	48,8	45,0	45,9	51,5	34,8	25,6	0,498	35,2	26,4	0,513	*0,506*	+ 0,2
Gesamt-	38,7	41,1	43,3	44,3	32,3	22,0	0,496	32,2	21,8	0,492	*0,494*	− 2,2
mittelwert	23,6	33,8	41,6	39,9	30,7	20,0	0,501	31,0	20,4	0,511	*0 506*	+ 0,2
$\alpha = 0{,}508$	13,6	24,2	37,8	31,1	27,6	16,6	0,534	27,5	16,5	0,531	*0,533*	+ 5,6
	8,6	17,3	33,7	24,0	22,4	12,1	0,504	22,1	12,0	0,500	*0,502*	− 0,6
	100,0	69,4	69,4	100,0	56,9	49,5	0,495	57,6	51,0	0,510	*0,503*	− 0,4
452	48,8	56,7	64,2	71,7	49,5	35,7	0,498	49,3	35,3	0,493	*0,496*	− 1,8
Gesamt-	38,7	51,6	58,5	53,2	44,0	27,3	0,514	43,5	26,5	0,499	*0,507*	+ 0,4
mittelwert	23,6	41,5	52,6	41,0	39,7	21,0	0,512	39,5	20,7	0,505	*0,509*	+ 0,8
$\alpha = 0{,}504$	13,6	33,7	47,1	31,8	36,6	16,9	0,532	35,8	16,0	0,503	*0,518*	+ 2,6
	8,6	—	42,5	25,0	32,5	12,4	0,496	32,3	12,2	0,488	*0,492*	− 2,6
	100,0	60,8	60,8	100,0	53,2	50,6	0,506	53,2	50,6	0,506	*0,506*	+ 0,2
454	48,8	52,7	58,7	77,0	48,7	39,6	0,514	48,4	38,9	0,505	*0,510*	+ 1,0
Gesamt-	38,7	48,2	55,4	58,0	43,4	28,7	0,495	42,9	27,9	0,482	*0,489*	− 3,2
mittelwert	23,6	40,4	49,8	42,0	39,2	21,9	0,522	38,8	21,4	0,510	*0,516*	+ 2,2
$\alpha = 0{,}508$	13,6	32,4	45,2	32,1	34,8	16,4	0,511	34,9	16,4	0,511	*0,511*	+ 1,2
	8,6	—	41,8	26,0	32,2	13,4	0,516	32,0	13,3	0,512	*0,514*	+ 1,8

Tabelle 10.

$\lambda = 434{,}8\ \mu\mu$. Schleußner-Spezial-Rapid-Platte.

Nr. der Aufnahme	Sektor-Marken		Ohne Kreuzblende		Mit Kreuzblende in Stellung I			Mit Kreuzblende in Stellung II			α *Mittel*	Fehler in %
	i	s	S_0	J_0	S_1	J_1	α_1	S_2	J_2	α_2		
	100,0	72,3	72,3	100,0	56,0	51,4	0,514	55,2	49,9	0,499	*0,507*	+ 0,4
425	48,8	54,8	58,8	57,0	42,5	29,6	0,520	41,3	28,0	0,491	*0,506*	+ 0,2
Gesamt-	38,7	48,3	50,1	41,3	35,6	20,3	0,492	35,3	20,0	0,484	*0,488*	− 3,4
mittelwert	23,6	38,4	47,9	37,8	35,0	19,5	0,516	34,6	19,1	0,505	*0,511*	+ 1,2
$\alpha = 0{,}507$	13,6	28,9	42,8	30,1	31,8	16,0	0,532	31,4	15,6	0,518	*0,525*	+ 4,0
	8,6	23,0	36,1	20,9	25,5	10,5	0,503	25,5	10,5	0,503	*0,503*	− 0,4
	100,0	61,9	61,9	100,0	44,4	50,5	0,505	43,5	48,5	0,485	*0,495*	− 2,0
427	48,8	43,5	47,7	58,7	35,0	30,5	0,520	34,3	29,1	0,496	*0,508*	+ 0,6
Gesamt-	38,7	39,3	41,8	44,5	30,9	23,0	0,517	30,4	22,1	0,497	*0,507*	− 0,4
mittelwert	23,6	31,2	40,9	42,5	30,2	21,9	0,515	30,0	21,5	0,506	*0,511*	+ 1,2
$\alpha = 0{,}503$	13,6	25,5	35,8	32,0	26,2	15,4	0,481	26,5	15,8	0,494	*0,488*	− 3,4
	8,6	21,5	30,8	23,0	23,6	11,3	0,491	24,1	12,0	0,522	*0,507*	+ 0,4
	100,0	70,2	70,2	100,0	51,2	52,0	0,520	50,2	49,9	0,499	*0,510*	+ 1,0
428	48,8	49,9	61,7	75,6	44,5	38,4	0,508	43,7	36,8	0,487	*0,498*	− 1,4
Gesamt-	38,7	44,5	40,1	45,5	35,6	22,8	0,501	35,2	22,2	0,488	*0,495*	− 2,0
mittelwert	23,6	36,3	46,1	41,5	33,9	20,2	0,487	33,7	20,0	0,482	*0,485*	− 4,0
$\alpha = 0{,}498$	13,6	28,8	40,7	31,3	29,8	14,9	0,476	30,8	16,0	0,511	*0,494*	− 2,2
	8,6	24,9	34,9	21,7	26,7	11,5	0,530	25,8	10,3	0,475	*0,503*	− 0,4

Tabelle 11.

$\lambda = 434{,}8\ \mu\mu$. Hauff-Extra-Rapid-Platte.

	100,0	63,8	63,8	100,0	48,7	50,5	0,505	48,8	50,9	0,509	*0,507*	+ 0,4
432	48,8	48,2	50,8	56,4	38,2	27,8	0,493	38,2	27,8	0,493	*0,493*	− 2,4
Gesamt-	38,7	43,6	45,8	43,4	33,7	20,9	0,482	34,6	22,2	0,512	*0,497*	− 1,6
mittelwert	23,6	35,7	45,3	42,1	34,5	22,0	0,523	34,1	21,5	0,511	*0,517*	+ 2,4
$\alpha = 0{,}508$	13,6	27,6	41,4	33,7	31,1	17,6	0,523	30,5	16,8	0,499	*0,511*	+ 1,2
	8,6	22,7	36,3	24,8	27,2	13,1	0,529	26,9	12,9	0,521	*0,525*	+ 4,0
	100,0	61,9	61,9	100,0	47,9	50,4	0,504	47,6	49,6	0,496	*0,500*	− 1,0
433	48,8	47,3	50,2	56,5	37,3	28,4	0,503	37,5	28,7	0,508	*0,506*	+ 0,2
Gesamt-	38,7	42,7	45,4	44,5	33,7	23,1	0,519	33,8	23,2	0,521	*0,520*	+ 3,0
mittelwert	23,6	34,2	45,4	44,5	33,5	22,8	0,513	33,4	22,6	0,508	*0,511*	+ 1,2
$\alpha = 0{,}504$	13,6	25,8	38,9	31,1	27,4	15,5	0,498	27,5	15,6	0,501	*0,500*	− 1,0
	8,6	20,4	33,3	22,5	23,0	11,0	0,489	22,9	10,9	0,484	*0,487*	− 3,6
	100,0	67,5	67,5	100,0	54,5	52,5	0,525	53,7	50,5	0,505	*0,515*	+ 2,0
434	48,8	53,1	55,9	56,3	42,0	28,0	0,498	41,9	27,8	0,494	*0,496*	− 1,8
Gesamt-	38,7	47,4	51,2	44,8	38,5	22,9	0,512	38,2	22,5	0,503	*0,508*	+ 0,6
mittelwert	23,6	39,1	48,9	40,0	36,9	20,8	0,520	36,8	20,6	0,515	*0,518*	+ 2,6
$\alpha = 0{,}506$	13,6	31,0	42,8	29,3	32,3	15,0	0,512	32,1	14,6	0,498	*0,505*	+ 0,0
	8,6	26,9	38,9	23,5	29,5	11,8	0,503	29,2	11,3	0,481	*0,492*	− 2,6

gestellten Ergebnisse der einzelnen Aufnahmen ist das für die Wellenlängen $\lambda = 334\ \mu\mu$ und $\lambda = 248\ \mu\mu$ Gesagte zu wiederholen. Eine Abhängigkeit unserer photometrischen Methode von der Wellenlänge des jeweils benutzten Lichtes ist also bis jetzt nicht festzustellen.

d) Wellenlänge $\lambda = 546\ \mu\mu$ und $\lambda = 577/9\ \mu\mu$.

Leider war für diese Wellenlängen die Benutzung der bisher verwendeten Plattensorten, die sich hinsichtlich der Konstanz der Plattenempfindlichkeit so gut bewährt hatten, nicht mehr möglich. Von einer Sensibilisierung derselben durch Baden in geeigneten Farblösungen wurde Abstand genommen, da die so erhaltene Konstanz der Empfindlichkeit wohl kaum den an sie gestellten Anforderungen genügt hätte. Es wurden vielmehr die im Handel befindlichen orthochromatischen Platten verwendet. Leider standen auch diese hinsichtlich der örtlichen Konstanz der Empfindlichkeit weit hinter den gewöhnlichen Platten zurück. Zur Anwendung gelangten die folgenden Fabrikate:

Hauff-Flavin-Platte.

Hauff orthochromatische Momentplatte.

Perntz-Perorto-Platte, grün Siegel.

Gleich von den ersten Aufnahmen mußten eine große Anzahl verworfen werden, weil die beiden Sektormarkenreihen in ihren Schwärzungen in ganz unregelmäßiger Weise um mehrere Millimeter gegeneinander abwichen. Aber auch bei Aufnahmen, bei welchen die beiden Sektormarkenreihen einander gleich waren, ergab die Ausmessung Resultate in den endgültigen Berechnungen, deren große, bisweilen sogar systematische Abweichungen voneinander sich nur durch Inkonstanz der Lampe oder Plattenempfindlichkeit, oder aber durch Versagen unserer Photometriermethode in diesem Gebiete des Spektrums erklären ließen. Diese Frage war demnach näher zu untersuchen. Zu diesem Zwecke wurden zunächst außer den zu den Messungen nötigen Spaltbildern noch eine große Anzahl von Kontrollmarken auf jeder Platte aufgenommen. Es zeigte sich hierbei, daß die beiden Sektormarkenreihen sehr wohl innerhalb der bei den mit

den bisherigen Wellenlängen ausgeführten Aufnahmen beobachteten Grenzen untereinander übereinstimmen können, während trotzdem die Kontrollmarken hinsichtlich der Schwärzung bedeutend voneinander abweichen. Diese Erscheinung sprach deutlich dafür, daß lediglich schlechte Konstanz der Plattenempfindlichkeit oder Lichtintensität unsere Resultate in ungünstiger Weise beeinflussen konnte und es war zu prüfen, welcher von diesen beiden Einflüssen der wirklich maßgebende war. Hierzu dienten die beiden folgenden Versuche:

1. Es wurden mit Sigma-Platten, deren gute konstante Plattenempfindlichkeit von den früheren Versuchen her bekannt war, zwei Aufnahmen für $\lambda = 434{,}8\ \mu\mu$ wiederholt (Aufnahme 452 und 454).[1]) Eine Inkonstanz der Hg-Lampe würde sich hier gleich in den Werten a des Schwächungsfaktors bemerkbar gemacht haben. Eine derartige Beobachtung war jedoch nicht zu machen. Die beiden Aufnahmen zeigten das gleich gute Endresultat, wie die früheren.

2. Unter Benutzung einer Kohlenfadenlampe als Lichtquelle, deren konstante Intensität bei konstanter Belastung von anderweitig im Institut angestellten Versuchen her gesichert war, wurden die Messungen im Gelb und Grün mit einer etwas modifizierten Anordnung wiederholt.[2]) Da sich hier die gleichen Resultate ergaben wie unter Benutzung der Hg-Lampe, so war definitiv festgestellt, daß lediglich die schlechte Konstanz der Empfindlichkeit der orthochromatischen Platten Ursache der schlechten Versuchsergebnisse war.

Nachdem auch ein Versuch mit Panchromatic-B-Platten von Wratten und Wainright-Croydon wegen deren geringer Empfindlichkeit gescheitert war und somit die gebräuchlichsten orthochromatischen Platten ausprobiert waren, wurden die Versuche für Gelb und Grün abgebrochen. In den Tab. 12 u. 13 ist das Ergebnis jener Aufnahmen enthalten, für deren Verwerfung keine Anhaltspunkte vorlagen. Wie man sieht, zeigen die Gesamtmittelwerte a im ungünstigsten Fall immerhin noch eine

---

[1]) s. Tabelle 9 S. 49.

[2]) vgl. S. 55.

Tabelle 12.

Wellenlänge $\lambda = 546\ \mu\mu$.

Nr. der Aufnahme	Sektor-Marken		Ohne Kreuzblende		Mit Kreuzblende in Stellung I			Mit Kreuzblende in Stellung II			α *Mittel*	Fehler in %
	i	s	S_0	J_0	S_1	J_1	α_1	S_2	J_2	α_2		
446	100,0	64,8										
Hauff-Flavin-Platte	68,4	55,8	64,8	100,0	48,1	51,4	0,514	47,2	49,5	0,495	*0,505*	± 0,0
	48,8	46,9	59,7	79,3	41,6	39,0	0,492	41,7	39,2	0,494	*0,493*	− 2,4
	38,7	41,3	52,7	61,0	36,6	30,5	0,500	36,4	30,2	0,495	*0,498*	− 1,4
Gesamt-mittelwert	23,6	31,7	44,6	44,5	31,7	23,6	0,530	31,3	23,0	0,517	*0,524*	+ 3,8
	13,6	23,0	38,3	33,4	25,3	16,4	0,491	25,4	16,5	0,494	*0,493*	− 2,4
$\alpha = 0{,}500$	8,6	20,7	33,5	26,0	21,2	12,1	0,465	22,2	13,2	0,508	*0,487*	− 3,6
449	100,0	66,2										
Perorto grün Siegel	68,4	61,2	66,2	100,0	56,7	51,2	0,512	56,3	50,0	0,500	*0,506*	+ 0,2
	48,8	55,9	62,9	77,0	51,0	37,4	0,486	50,8	37,0	0,481	*0,484*	− 4,2
	38,7	51,7	59,6	61,2	47,0	29,9	0,489	47,1	30,0	0,491	*0,490*	− 3,0
Gesamt-mittelwert	23,6	43,4	53,4	42,8	42,2	21,6	0,505	42,0	21,3	0,498	*0,502*	− 0,6
	13,6	37,2	48,7	32,9	38,8	16,2	0,493	39,2	16,9	0,514	*0,504*	− 0,2
$\alpha = 0{,}494$	8,6	33,4	43,8	24,1	36,3	12,5	0,519	34,9	10,6	0,440	*0,480*	− 5,0
451	100,0	60,2										
Perorto grün Siegel	68,4	51,3	60,2	100,0	43,7	48,6	0,486	43,5	48,2	0,482	*0,484*	− 4,2
	48,8	43,2	56,4	83,6	41,8	44,0	0,526	41,0	42,0	0,502	*0,514*	+ 1,8
	38,7	40,0	49,0	62,0	36,6	31,5	0,508	36,4	31,0	0,500	*0,504*	− 0,2
Gesamt-mittelwert	23,6	33,2	43,4	48,0	33,3	24,3	0,497	33,3	24,3	0,497	*0,497*	− 1,6
	13,6	27,9	38,5	36,0	29,0	15,6	0,433	28,3	14,3	0,397	*0,415*	− 17,8
$\alpha = 0{,}474$	8,6	25,3	33,8	25,4	26,5	10,9	0,431	26,5	10,9	0,431	*0,431*	− 14,7
456	100,0	65,4										
Hauff-Flavin-Platte	68,4	56,9	65,4	100,0	48,9	50,8	0,508	48,2	49,5	0,495	*0,502*	− 0,6
	48,8	48,0	58,5	72,7	43,0	39,6	0,545	41,7	37,1	0,510	*0,528*	+ 4,6
	38,7	42,5	51,9	56,8	38,9	31,9	0,562	38,6	31,2	0,550	*0,556*	+ 10,1
Gesamt-mittelwert	23,6	34,7	45,3	44,0	32,5	20,5	0,466	33,5	21,9	0,498	*0,482*	− 4,6
	13,6	24,4	39,2	32,4	27,4	15,6	0,482	27,1	15,4	0,475	*0,479*	− 5,2
$\alpha = 0{,}508$	8,6	14,6	34,4	23,3	21,4	11,7	0,502	21,3	11,6	0,498	*0,500*	− 1,0

Tabelle 13.

Wellenlänge $\lambda = 577/9\ \mu\mu$.

Nr. der Aufnahme	Sektor-Marken		Ohne Kreuzblende		Mit Kreuzblende in Stellung I			Mit Kreuzblende in Stellung II			α *Mittel*	Fehler in %
	i	s	S_0	J_0	S_1	J_1	α_1	S_2	J_2	α_2		
460	100,0	59,7										
Schleußner-Spezial-Rapid	68,4	48,4	59,7	100,0	41,3	50,2	0,502	41,2	50,0	0,500	*0,501*	− 0,8
	48,8	40,9	52,1	78,3	36,3	38,5	0,492	36,7	39,4	0,504	*0,498*	− 1,4
	38,7	36,1	43,7	56,1	31,7	28,8	0,514	31,6	28,6	0,510	*0,512*	+ 1,4
Gesamt-mittelwert $\alpha = 0{,}507$	23,6	29,1	38,5	43,5	27,5	21,5	0,494	27,6	21,6	0,496	*0,495*	− 2,0
	13,6	20,1	33,2	31,8	24,0	17,1	0,538	23,5	16,6	0,522	*0,530*	+ 5,0
	8,6	—										
461	100,0	53,5										
Schleußner-Spezial-Rapid	68,4	43,3	53,5	100,0	38,4	53,0	0,530	38,0	52,0	0,520	*0,525*	+ 4,0
	48,8	37,3	45,8	75,0	32,8	37,9	0,505	32,9	38,1	0,508	*0,507*	+ 0,4
	38,7	33,0	40,2	58,2	30,0	30,4	0,523	30,1	30,7	0,528	*0,526*	+ 4,2
Gesamt-mittelwert $\alpha = 0{,}521$	23,6	27,3	35,4	44,8	27,8	24,8	0,554	26,9	22,5	0,503	*0,529*	+ 4,8
	13,6	23,4	31,0	33,0	24,9	17,5	0,530	24,5	16,6	0,503	*0,517*	+ 2,4
	8,6	—										
462	100,0	67,0										
Hauff-orthochromatisch Moment	68,4	57,5	67,0	100,0	47,9	49,0	0,490	47,0	47,2	0,472	*0,481*	− 4,8
	48,8	47,2	61,6	79,4	43,0	39,6	0,499	42,5	38,7	0,488	*0,494*	− 2,2
	38,7	42,9	51,7	56,6	36,3	28,0	0,495	36,2	27,9	0,493	*0,494*	− 2,2
Gesamt-mittelwert $\alpha = 0{,}492$	23,6	33,8	43,9	41,3	33,2	23,0	0,557	32,4	21,9	0,531	*0,544*	+ 7,7
	13,6	26,3	39,6	33,5	28,2	15,9	0,475	27,8	15,4	0,460	*0,468*	− 7,3
	8,6	21,9	34,3	24,8	24,8	11,6	0,468	24,8	11,6	0,468	*0,468*	− 7,3
463	100,0	64,3										
Hauff-orthochromatisch Moment	68,4	52,9	63,0	96,0	46,1	50,9	0,531	44,3	47,0	0,490	*0,511*	+ 1,2
	48,8	45,2	56,3	77,0	41,6	41,5	0,539	40,9	40,0	0,520	*0,530*	+ 5,0
	38,7	40,2	47,3	53,7	35,3	29,4	0,548	35,2	29,1	0,542	*0,545*	+ 7,9
Gesamt-mittelwert $\alpha = 0{,}515$	23,6	31,9	41,7	41,6	31,6	23,0	0,553	31,2	22,3	0,536	*0,545*	+ 7,9
	13,6	25,3	38,4	35,0	28,4	17,6	0,503	27,2	15,6	0,446	*0,475*	− 6,0
	8,6	23,8	33,3	25,9	25,5	13,0	0,502	24,9	12,0	0,463	*0,483*	− 4,4

Genauigkeit von 6 %, wenn auch die verschiedenen Einzelwerte α mit Fehlern bis zu 18 % behaftet sind. Bei Aufnahme 460 und 461 wurde der Versuch gemacht, Schleußner Spezial-Rapid-Platten auch für die vorliegenden Wellenlängen zu benutzen. Die Intensität wurde zu diesem Zwecke durch Versilbern von Spiegel H_1 entsprechend erhöht. Gleichwohl waren die so erhaltenen Höchstschwärzungen immer noch sehr gering, so daß die noch schwächeren Schwärzungen nur mehr schwer und ungenau am Photometer zu messen waren. Immerhin ist die Tatsache, daß die Abweichungen der mit diesen Platten erhaltenen Werte α von dem zu erwartenden Werte 0,505 eine Grenze von 5 % nicht überschreiten, ein weiterer Beleg dafür, daß die großen Fehler bei der Anwendung der orthochromatischen Platten lediglich deren schlechter Konstanz der Empfindlichkeit zuzuschreiben sind.

e) Wellenlänge $\lambda = 650{,}0\ \mu\mu$.

Da die Quecksilberlampe sich im roten Spektralgebiet für unsere Versuche als ungeeignet erwies, wurde hier als Lichtquelle eine geradfadige Kohlenfaden-Glühlampe benutzt. Durch deren Anwendung war auch eine Abänderung der Versuchsanordnung bedingt. Denn zur Ausblendung eines hinreichend monochromatischen Spektralteiles aus einem kontinuierlichen Spektrum sind natürlich bedeutend feinere Hilfsmittel nötig als zur Isolierung einer an sich schon monochromatischen Linie aus einem Linienspektrum. Statt der bisherigen Versuchsanordnung wurde daher zur Ausführung der Aufnahmen eine große Stufengitteraufstellung von Hilger benutzt. Der Unterschied gegen früher besteht hier lediglich darin, daß das Licht zuerst den Spektralapparat und dann erst die zur meßbaren Intensitätsabschwächung dienende Blende passiert. Der in diesem Falle vorliegende Strahlengang ist in Fig. 7 skizziert.

Das achromatische Objektiv O_1 projiziert den leuchtenden Faden der Glühlampe auf den weit geöffneten Spalt 1 des Hilfsspektroskops. Dasselbe entwirft in der Brennebene des Objektivs O_3 ein kontinuierliches Spektrum, aus welchem der in der Brennebene von O_4 stehende Präzisionsspalt 2 die gewünschte Wellen-

länge ausblendet, die mittels einer geeichten Wellenlängentrommel durch Drehen des Prismas eingestellt werden kann. Die durch das Objektiv O_4 parallel gemachten Strahlen werden sodann von Objektiv O_5 wieder auf der photographischen Platte zu einem Bilde von Spalt 2 vereinigt.

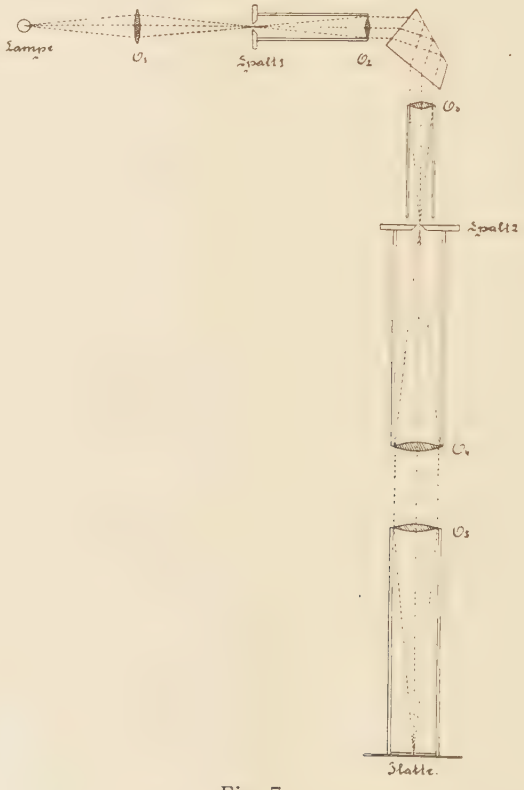


Fig. 7.

Schema der für die Wellenlänge $\lambda = 650\,\mu\mu$ benutzten Versuchsanordnung.

Da wegen der guten sphärischen Korrektion der Objektive hinreichend weite Strahlenbündel zur Verfügung standen, wurde statt der Kreuzblende eine Schieberblende benutzt. Dieselbe befand sich im parallelen Strahlengang hinter dem Objekt O_4.

Ihre rechteckige Öffnung konnte mittels einer Mikrometerschraube meßbar verändert und durch eine Stellvorrichtung jeweils vor die Mitte des Objektivs gebracht werden. Hinsichtlich näherer Angaben über die Berechtigung der Verwendung einer solchen Blende zur Herstellung bekannter Intensitätsverhältnisse, vor allem im vorliegenden speziellen Falle, sei auf die schon oft zitierte Arbeit von Herrn Koch hingewiesen.[1])

Die Kohlenfadenlampe war an die Akkumulatorenbatterie des Instituts angeschlossen. Die Stromstärke wurde mittels eines Milli-Ampèremeters ständig auf ihre Konstanz kontrolliert und im Bedarfsfalle mittels eines geeigneten Regulierwiderstandes nachreguliert. Der rotierende Sektor befand sich dicht vor Spalt 1. Das Stativ, auf welchem der Motor montiert war, stand auf einem gemauerten Pfeiler, um die übrige Anordnung vor Erschütterungen zu schützen. Soweit es notwendig war, wurde der Strahlengang vor falschem Licht in passender Weise geschützt.

Die Versuche selbst vollzogen sich folgendermaßen: Zunächst wurden bei konstanter Öffnung der Schieberblende in der bisher üblichen Weise die Sektormarken gedruckt. Sodann wurden während der gleichen Expositionsdauer ohne den rotierenden Sektor eine Anzahl von Spaltbildern bei verschiedenen Öffnungen der Schieberblende aufgenommen. Aus den Schwärzungen dieser Aufnahmen wurden die den einzelnen Blendenöffnungen entsprechenden relativen Intensitäten an der durch die Sektormarken gegebenen Intensität-Schwärzungskurve interpoliert. Die so erhaltenen Werte derselben müssen mit den aus den jeweiligen geometrischen Dimensionen der Öffnungen berechneten übereinstimmen, wenn die unserem Photometrierverfahren zugrunde gelegten Voraussetzungen erfüllt sind.

Sektor- wie Schieberblendenmarken wurden doppelt auf jeder Platte aufgenommen. Tourenzahl und Expositionsdauer waren der Versuchsreihe entsprechend 1890 Umdrehungen pro Minute bezw. 60 Sekunden.

Die Ausmessung der drei auf Wratten und Wainwright

---

[1]) P. P. Koch, Ann. d. Phys. 30. S. 856, 1909.

Panchromatic-B-Platten für die Wellenlänge $\lambda = 650\,\mu\mu$ gemachten Aufnahmen ergab das in Tab. 14 angegebene Resultat. Wie man sieht, stimmen die photographisch bestimmten den verschiedenen Blendenöffnungen entsprechenden relativen Intensitäten J mit den in Kolonne 1 angegebenen berechneten innerhalb der bisher beobachteten Meßfehlergrenze überein.

Mit der Wellenlänge $\lambda = 650\,\mu\mu$ wurde die erste Versuchsgruppe abgeschlossen. Überblicken wir noch einmal die sämtlichen Resultate, so sehen wir, daß alle auf Grund unserer S. 8 skizzierten, auf der Benutzung des rotierenden Sektors zur Herstellung einer Intensitätsskala beruhenden Photometriermethode photographisch-photometrisch bestimmten Werte des Schwächungsfaktors der Kreuzblende, bezw. die den jeweiligen Öffnungen der Schieberblende entsprechenden relativen Intensitäten, von den geometrisch berechneten Werten nicht mehr abweichen, als es bei den der Methode zugrunde liegenden Meßfehlern zu erwarten ist. Wir sind somit zu folgendem Schluß berechtigt: Der rotierende Sektor ist bei einer Tourenzahl von 1890 Umdrehungen pro Minute und einer Expositionsdauer von 60 Sekunden, wie sie bei den vorstehenden Versuchen benutzt wurden, zur photographischen Photometrie in analoger Weise wie zur visuellen verwendbar, unabhängig von der Wellenlänge der jeweils zu messenden Erscheinung und der zur Anwendung gelangenden Plattensorte.

Es liegt nun die Frage nahe, inwieweit eine Änderung der Tourenzahl oder der Expositionsdauer auf dieses Resultat von Einfluß ist. Daß von einer bestimmten Tourenzahl an unsere Photometriermethode ihre Gültigkeit verlieren muß, folgt aus den in der Einleitung gemachten Ausführungen. Wie wir dort sahen, liefert unser Photometrierverfahren nur dann richtige Werte für die gemessenen Intensitäten, wenn für die intermittierende Belichtung das Bunsen-Roscoesche Schwärzungsgesetz gilt. Je mehr wir uns nun der Tourenzahl Null nähern, umso näher kommen wir dem Grenzfall der kontinuierlichen Belichtung, für welche nicht das Bunsen-Roscoesche, sondern das Schwarzschildsche Schwärzungsgesetz gilt. Es ist demnach zu erwarten,

Tabelle 14.

$\lambda = 650\ \mu\mu$. Wratten- u. Wainwright-Panchromatic-B-Platte.

Schieberblende. Intensität berechnet aus den Öffnungen	Aufnahme 469					Aufnahme 470					Aufnahme 471					J Mittel
	Sektor-Marken		Schieberblende		Fehler in %	Sektor-Marken		Schieberblende		Fehler in %	Sektor-Marken		Schieberblende		Fehler in %	
	i	s	S	J		i	s	S	J		i	s	S	J		
100,0	100,0	63,9	63,9	100,0	± 0,0	100,0	59,9	59,9	100,0	+ 0,0	100,0	67,3	66,9	98,3	− 1,7	99,4
75,0	68,4	54,3	57,1	75,8	+ 1,1	68,4	50,7	53,1	75,0	± 0,0	68,4	57,4	59,8	74,5	− 0,7	75,1
50,0	48,8	45,4	47,3	51,3	+ 2,6	48,8	43,7	43,6	48,6	− 2,8	48,8	48,4	48,6	49,4	− 1,2	49,8
35,0	38,7	41,6	40,4	36,5	+ 4,3	38,7	39,8	37,4	34,8	− 0,6	38,7	43,7	41,6	35,0	± 0,0	35,4
20,0	23,6	33,7	32,0	20,2	+ 1,0	23,6	31,6	30,1	20,3	+ 1,5	23,6	35,7	33,1	19,0	− 5,0	19,8
10,0	13,6	28,5	27,1	10,1	+ 1,0	13,6	26,7	25,3	10,0	± 0,0	13,6	30,1	28,6	10,5	+ 5,0	10,2

daß von einer bestimmten Tourenzahl an das eine Gesetz in das andere übergeht und unser obiges Resultat in diesem Sinne beeinflußt wird.

Zunächst wurde diese Frage untersucht, unter Beibehaltung der bisher benutzten Expositionsdauer von 60 Sekunden. Angeschlossen wurden einige Versuche über Fragen, die mit der speziell vorliegenden eng in Zusammenhang stehen.

2. Die Abhängigkeit der Versuchsresultate von der Tourenzahl.

Statt wie bisher, nur jetzt unter Benutzung anderer Tourenzahlen zur Aufnahme der Sektormarken, den Schwächungsfaktor der Kreuzblende photographisch-photometrisch zu bestimmen und die Richtigkeit der so erhaltenen Werte an Hand des geometrisch berechneten zu prüfen, konnte hier in einfacherer Weise vorgegangen werden. Wie leicht ersichtlich, wird eine Änderung der Tourenzahl das Resultat des vorigen Abschnittes nur dann beeinflussen, wenn die mit der geänderten Tourenzahl für die Sektormarken erhaltenen Schwärzungen von denjenigen abweichen, welche wir unter denselben Bedingungen für die Tourenzahl 1890 bekommen würden. Unsere Versuche haben sich demnach so zu gestalten, daß wir, beginnend mit der Tourenzahl 1890, bei verschiedenen Umdrehungsgeschwindigkeiten des rotierenden Sektors während der bisherigen Expositionszeit von 60 Sekunden und unter Benutzung einer der bisher untersuchten Wellenlängen mehrere Sektormarkenreihen bei konstanter Intensität der Lichtquelle auf ein und derselben Platte aufnehmen und sehen, ob dieselben hinsichtlich ihrer Schwärzungen innerhalb der durch die Inkonstanz der Plattenempfindlichkeit und der Meßfehler am Mikrophometer gegebenen Grenze untereinander übereinstimmen. Bei derjenigen Tourenzahl, bei welcher sich eine systematische Abweichung gegenüber den mit 1890 Umdrehungen des Sektors pro Minute erhaltenen Resultaten bemerkbar macht, beginnt unsere Photometriermethode ihre Gültigkeit zu verlieren.

Um die Klemmspannung und somit die Tourenzahl des Motors, auf den die Sektorscheibe montiert war, variieren zu

können, wurde derselbe mittels eines Regulierwiderstandes von 60 Ω in den Nebenschluß geschaltet. Die den verschiedenen verwendeten Klemmspannungen entsprechenden Umdrehungszahlen des Sektors wurden vor Beginn der Versuche mit einem Tourenzähler bestimmt und betrugen außer 1890 noch 1000, 260 und 120 Umdrehungen pro Minute. Da sämtliche mit diesen Tourenzahlen aufgenommenen Sektormarkenreihen auf die gleiche Platte gedruckt wurden, gelten für alle hinsichtlich Aufnahme und Entwicklung dieselben Bedingungen, so daß sie direkt untereinander vergleichbar sind. Fernerhin wurde noch eine Anzahl Marken während verschiedener von 2—30 Sekunden variierender Expositionszeiten ohne Sektor kontinuierlich auf derselben Platte aufgenommen und mittels der so gewonnenen Zeit-Schwärzungskurve diejenigen Schwärzungen bestimmt, welche den, den verschiedenen Sektoröffnungen entsprechenden, kontinuierlichen wirksamen Belichtungsdauern zugehören. Die letzteren sind bei allen Tourenzahlen dieselben, da ja Einzelbelichtungsdauer und Pause gleichzeitig durch die langsamere Umdrehung des Sektors beeinflußt wird und die Expositionszeit überall dieselbe war. Über die Dauer der Einzelbelichtungen bei den verschiedenen Tourenzahlen vergleiche man Tab. 1.

Alle Aufnahmereihen wurden wieder doppelt und in ihrer Schwärzungsabstufung sich kreuzend auf die Platte gedruckt und aus den jeweiligen zwei Schwärzungen das Mittel genommen. Benutzt wurde als Wellenlänge $\lambda = 434{,}8\ \mu\mu$ und als Platte die Extra-Rapid-Platte von Hauff. Die absoluten Intensitäten waren bei den drei gemachten Aufnahmeserien verschieden gewählt und so abgestuft, daß sie sich verhielten wie $100 : 74 : 51$. Das Resultat der Versuche zeigt Tabelle 15. Wie man sieht, sind bei sämtlichen drei Aufnahmen die Schwärzungen der mit einer bestimmten Sektorstellung bei verschiedenen Tourenzahlen gedruckten Marken innerhalb der Meßfehler einander gleich. Unser im vorigen Abschnitt erhaltenes Resultat ist also, wenigstens bei der vorliegenden Wellenlänge und Plattensorte, bis zu einer Tourenzahl von 120 Umdrehungen pro Minute von der letzteren noch unabhängig. Die der Tourenzahl Null entsprechenden durch die kontinuierliche Belichtung erhaltenen Schwärzungen weichen von den innerhalb

Tabelle 15.

Abhängigkeit von der Tourenzahl. $\lambda = 434{,}8\ \mu\mu$.

Expositionsdauer 60 Sekunden. Hauff-Extra-Rapid-Platte.

Aufnahme	Sektorstellung	Wirksame Belichtungsdauer	Schwärzung						Schwärzungsverhältnis[2] $\frac{S\,\text{interm.}}{S\,\text{contin.}}$
			1890 Touren	1000 Touren	260 Touren	120 Touren	Mittelwert	Kontinuierlich	
474 Intensität 100,0	1	29,2 sec.	65,6	67,0	65,2	65,8	65,9 (17.49)[1]	70,5 (18.23)[1]	0,959
	7	23,2 sec.	60,0	60,3	60,8	60,4	60,4 (16,60)	64,7 (17,28)	0,962
	16	14,2 sec.	48,8	50,2	49,3	49,5	49,7 (14,41)	54,4 (15,47)	0,933
	22	8,1 sec.	41,2	40,7	41,2	42,2	41,4 (12.00)	44,6 (13,00)	0,923
	25	5,1 sec.	36,2	35,4	36,0	35,5	35,8 (10.02)	38,9 (11,12)	0,900
	28	2,4 sec.	30,9	30,9	30,4	31,4	30,9 (8,30)	33,4 (9,19)	0,903
475 Intensität 74,0	1	29,2 sec.	55,6	54,4	55,5	55,5	55,3 (15,65)	58,1 (16,19)	0,968
	7	23,2 sec.	49,3	49,3	49,8	49,5	49,5 (14,36)	53,4 (15,28)	0,941
	16	14,2 sec.	40,6	41,1	40,7	41,2	40,9 (11,82)	44,7 (13,00)	0,910
	22	8,1 sec.	32,8	33,8	33,8	33,9	33,6 (9,26)	37,2 (10,50)	0,882
	25	5,1 sec.	29,4	29,3	29,5	29,9	29,5 (7,80)	32,6 (8,90)	0,876
476 Intensität 51,0	1	29,2 sec.	49,1	49,2	49,8	49,2	49,3 (14,30)	50,9 (14,70)	0,973
	7	23,2 sec.	44,1	44,8	44,5	44,7	44,5 (12,96)	47,3 (13,78)	0,943
	16	14,2 sec.	38,2	38,2	38,4	38,3	38,3 (10,91)	40,8 (11,80)	0,925
	22	8,1 sec.	31,4	31,1	31,7	32,2	31,6 (8,51)	35,1 (9,80)	0,868
	25	5,1 sec.	29,5	29,5	29,1	29,4	29,4 (7,78)	31,7 (8,58)	0,907

[1]) Die in Klammern gesetzten Zahlen geben die Schwärzungen reduziert auf die Hartmannsche Skala (s. Tab. 2 S. 30).

[2]) Bei der Bildung des Verhältnisses sind die auf die Hartmannsche Skala reduzierten Schwärzungen benutzt.

der gleichen wirksamen Belichtungsdauer mit dem Sektor intermittierend sich ergebenden ab. Die letzteren sind kleiner als die ersteren. In der letzten Kolonne der Tabelle ist das Verhältnis der intermittierend zu den kontinuierlich erhaltenen Schwärzungen angegeben. Dasselbe nimmt mit einigen Ausnahmen, die sich durch Versuchsfehler erklären lassen, mit abnehmender Winkelöffnung der Sektorscheibe ab. Die Wirkung der intermittierenden Belichtung ist also um so geringer gegenüber der gleich lange dauernden kontinuierlichen, je kleiner das Verhältnis Licht : Pause ist. Interessant ist hier die Frage, ob nicht die Schwärzungsdifferenz zwischen intermittierender und kontinuierlicher Belichtung mit den verschiedenen entsprechenden Winkelöffnungen des Sektors in analogem Zusammenhang steht, wie die letzteren mit dem Verhältnis Licht : Pause. Wie wir in der Einleitung gesehen haben, wird nur eine ganz bestimmte Art der intermittierenden Belichtung die chemische Wirkung derselben so gestalten, daß für dieselbe das Bunsen-Roscoesche Gesetz gilt (vgl. S. 6), welch letzteres nach den Versuchen des vorigen Abschnittes ja bei uns der Fall ist. Die charakteristische Eigenschaft unserer hier speziell vorliegenden intermittierenden Belichtung besteht aber gerade darin, daß das Verhältnis Licht : Pause mit abnehmender Winkelöffnung in ganz bestimmter Weise abnimmt. Da aber dasselbe, wie wir eben gesehen haben, und wie auch von anderer Seite gefunden worden ist, die Wirkung der intermittierenden Belichtung beeinflußt, so liegt es nahe, daß auch die Schwärzungsdifferenz der beiden Belichtungsarten zur Winkelöffnung in ähnlicher Beziehung steht. Leider gestatten die Ergebnisse unserer Aufnahmen nicht, einen derartigen Zusammenhang zu finden.

Betrachten wir noch die zu gleichen Sektorstellungen gehörigen Schwärzungsverhältnisse $\frac{S\ \text{intermittierend}}{S\ \text{kontinuierlich}}$ hinsichtlich ihrer Abhängigkeit von der jeweilig zur Aufnahme benutzten Intensität, so sehen wir, daß dieselben bei Sektorstellung 1 deutlich mit abnehmender Intensität zunehmen. Während bei den Sektorstellungen 7, 16 und 25 keine gleichmäßige Zunahme zu bemerken ist, finden wir bei Sektorstellung 22 sogar eine Ab-

nahme mit abnehmender Intensität. Einen definitiven Schluß darüber, ob die Wirkung der intermittierenden Belichtung mit Abnahme der Intensität sich derjenigen der kontinuierlichen nähert, oder umgekehrt, lassen unsere Resultate nicht zu. Wenn eine solche Abhängigkeit in der Tat vorhanden ist, so müßte auch eine Variation der Expositionsdauer auf unsere Photometriermethode von Einfluß sein können. Auf diesen Punkt kommen wir im nächsten Abschnitt zu sprechen.

Es sei hier noch eine Versuchsreihe erwähnt, die gemacht wurde, um den Einfluß des Verhältnisses Licht : Pause auf die Schwärzungsdifferenz zwischen intermittierender und kontinuierlicher Belichtung festzustellen und event. eine Gesetzmäßigkeit der obengenannten Art zu finden. Es wurde zunächst die Linie $\lambda = 434{,}8$ bei Sektorstellung 1 während einer Expostionsdauer von 60 Sekunden aufgenommen. Sodann wurde die Aufnahme bei den übrigen bisher benutzten Sektorstellungen wiederholt, aber die Expositionsdauer so gewählt, daß immer die entsprechenden wirksamen Belichtungsdauern derjenigen für Sektorstellung 1 gleich waren, also 29,2 Sekunden. Da die Dauer der Einzelbelichtungen allmählich abnimmt, nimmt die Anzahl derselben im vorliegenden Falle zu, während bei den früher gemachten Aufnahmen die Zahl der Einzelbelichtungen konstant war, die wirksame Belichtungsdauer dagegen abnahm. Wie Tabelle 16 zeigt, ist die Schwärzung bei den verschiedenen Sektorstellungen nicht konstant, sondern nimmt ab mit der benutzten Winkelöffnung, obwohl das Licht bei allen Aufnahmen im ganzen gleich lange auf die Platte gewirkt hat.[1]) Die Schwärzungsdifferenz gegen die Schwärzung der mit Sektorstellung 1 gemachten Aufnahme nimmt zu mit abnehmender Winkelöffnung, also mit zunehmender Pause. Leider ist es mir auch an Hand dieser Versuchsergebnisse nicht gelungen, die Frage zu entscheiden, ob diese Schwärzungsdifferenzen mit den zugehörigen Winkelöffnungen in ähnlichem Zusammenhang stehen wie die Verhältnisse Licht: Pause. Trägt man einmal die Verhältnisse Licht : Pause, sodann

[1]) vgl. den analogen Versuch von Abney, Eders Jahrb. f. Photogr. u. Reprod.-Technik S. 167, 1895.

Tabelle 16.

Konstante Tourenzahl und wirksame Belichtungsdauer bei verschiedenen Sektoröffnungen. Hauff-Extra-Rapid-Platte. Tourenzahl 1980. $\lambda = 434{,}8\ \mu\mu$.

Sektorstellung	Dauer der Einzelbelichtung	Dauer der einzelnen Pausen	Verhältnis Licht / Pause	Anzahl der Einzelbelichtungen pro Gesamtbelichtung	Wirksame Belichtungsdauer	Expositionsdauer	Aufnahme 488		Aufnahme 489	
							Schwärzung	Schwärzungsdifferenz gegen Sektorstellung 1	Schwärzung	Schwärzungsdifferenz gegen Sektorstellung 1
1	0,007 372 sec.	0,007 779 sec.	0,95	3 960	29,2 sec.	1 min. 0,00 sec.	37,9	—	30,8	—
7	0,005 846 sec.	0,009 306 sec.	0,63	4 994	29,2 sec.	1 min. 15,7 sec.	36,7	1,2	30,2	0,6
16	0,003 565 sec.	0,011 587 sec.	0,31	8 190	29,2 sec.	2 min. 4,1 sec.	35,9	2,0	28,7	2,1
22	0,002 047 sec.	0,013 104 sec.	0,16	14 265	29,2 sec.	3 min. 36,2 sec.	34,6	3,3	27,9	2,9
25	0,001 286 sec.	0,013 865 sec.	0,09	22 694	29,2 sec.	5 min. 43,9 sec.	33,7	4,2	26,9	3,9

die reziproken Werte der z. B. aus Aufnahme 488 entnommenen Schwärzungsdifferenzen als Funktion der Winkelöffnungen auf, so bekommt man zwei Kurven, die einander parallel laufen. Diese Parallelität geht jedoch vollständig verloren, wenn man die Schwärzungen auf die Hartmannsche Skala reduziert und für die dann erhaltenen Schwärzungsdifferenzen die Konstruktion wiederholt.

Da die Aufnahmen 474—476 gezeigt hatten, daß ein Einfluß der Tourenzahl bis zu 120 Umdrehungen pro Minute auf die Schwärzung unserer Sektormarken nicht zu bemerken ist, wurden weitere Versuche angestellt, um diejenigen Bedingungen zu finden, unter denen eine Abweichung von den mit der Tourenzahl 1890 erhaltenen Resultaten sich bemerkbar macht. Das denselben zugrunde liegende Aufnahmeschema war das folgende:

Auf ein und dieselbe Platte wurden unter Benutzung der gleichen Wellenlänge und Plattensorte, wie bisher, folgende Aufnahmen gemacht:

1. Die Sektormarken wurden bei einer Tourenzahl von 800 Umdrehungen und einer Expositionsdauer von 60 Sekunden aufgenommen.

2. Durch passende Vorgelege wurde die Tourenzahl auf zirka 3 Umdrehungen pro Minute gebracht und mit dieser Rotationsgeschwindigkeit des Sektors die Sektormarkenreihe exponiert.

3. Es wurde eine Reihe von Marken intermittierend gedruckt in der Weise, daß die Summe der Einzelbelichtungen 30, 25, 20, 15 und 10 Sekunden betrug bei gleich langer Dauer von Pause und Einzelbelichtung, also bei konstantem Verhältnis Licht : Pause = 1. Diese Aufnahmereihe wurde ausgeführt:

   a) Bei konstanter Einzelbelichtungsdauer und abnehmender Zahl der Einzelbelichtungen.

   b) Bei konstanter Zahl der Einzelbelichtungen, also mit abnehmender Einzelbelichtungsdauer.

4. Das Spaltbild wurde während der Expositionszeiten 5, 10 ... 30 Sekunden kontinuierlich aufgenommen.

Die Intensität der Lichtquelle war bei allen Aufnahmegruppen dieselbe. Bei der Tourenzahl 3 erfolgte die Belichtung

in der Weise, daß der Verschluß geöffnet wurde, während Spalt 1 gerade durch den undurchsichtigen Teil des rotierenden Sektors verdeckt war, und geschlossen wurde, nachdem 6 Belichtungen durch den offenen Teil hindurch erfolgt waren. Gleichzeitig wurde mit einer Stoppuhr die Zeit vom Beginn der ersten bis zum Ende der letzten Belichtung bestimmt. Diese Zeit entspricht der Expositionsdauer und war im vorliegenden Falle von 3 Umdrehungen pro Minute gleich 60 Sekunden, wie bei den Aufnahmen mit 1890 Touren. Da jedoch die Tourenzahl von Aufnahme zu Aufnahme ein wenig schwankte, so variierte auch die Expositionsdauer, jedoch innerhalb sehr kleiner Grenzen. Die höchsten Abweichungen betrugen 2 Sekunden. Aus der „Expositionsdauer" lassen sich dann die Dauern der 6 verschiedenen Einzelbelichtungen ermitteln und aus diesen wieder die entsprechende „wirksame Belichtungsdauer". Letztere ist also für jede einzelne Aufnahme der ganzen Reihe genau bekannt, so daß der Einfluß der kleinen Schwankungen in der Tourenzahl eliminiert wird, wenn wir die erhaltenen Schwärzungen hinsichtlich ihrer Abhängigkeit von den zugehörigen wirksamen Belichtungsdauern beurteilen.

Die Intermittenzaufnahmen 3 a und b wurden mit der Hand nach der Stoppuhr belichtet. Dieselbe gestattet, wenn man durch eine Lupe beobachtet, eine Ablesung der Zeit auf $^2/_{10}$ Sekunden genau. Das Öffnen und Schließen des den Verschluß betätigenden Magnetisierungsstromes kann mit der Hand auf $^1/_{10}$ Sekunde genau geschehen. Jedoch werden die beim Öffnen des Verschlusses auftretenden Fehler durch die beim Schließen auftretenden im allgemeinen wieder ausgeglichen, so daß die Belichtungsfehler im Vergleich zu den übrigen nicht in Betracht kommen. Immerhin wird man den sich ergebenden Versuchsresultaten eine mehr qualitative als quantitative Bedeutung zuschreiben müssen.

Die den einzelnen Aufnahmereihen entsprechenden Schwärzungen sind in Tab. 17 zusammengestellt, die das Ergebnis von drei Platten enthält. Zu bemerken ist, daß bei der Tourenzahl 3 aus den Schwärzungen der wie bisher wieder doppelt gedruckten Marken nicht das Mittel gezogen werden konnte, da die Tourenzahl bei ihnen nicht genau die gleiche war. Es sind daher die

Tabelle 17.

Abhängigkeit von der Tourenzahl und dem Verhältnis Licht : Pause.
$\lambda = 434{,}8\ \mu\mu$.

(Aufnahme 479, 480, 481.)

Wirksame Belichtungsdauer	Schwärzung durch kontinuierliche Belichtung	Intermittierend an Hand ohne Sektor. Verhältnis Licht : Pause konstant = 1				Intermittierend mit Sektor. Konstante Zahl der Einzelbelichtungen. Abnehmende Einzelbelichtungsdauer und abnehmendes Verhältnis Licht : Pause				
		Konstante Einzelbelichtungsdauer. Abnehmende Zahl der Einzelbelichtungen		Konstante Zahl der Einzelbelichtungen. Abnehmende Einzelbelichtungsdauer		800 Touren		ca. 3 Touren		
		Zahl der Belichtungen	Schwärzung	6 Belichtungen zu	Schwärzung	Wirksame Belichtungsdauer	Schwärzung	6 Belichtungen zu	Wirksame Belichtungsdauer	Schwärzung
30 sec.	53,5	6	52,5	5,0 sec.	53,0	29,2 sec.	50,4	4,9 sec. 4,7 sec.	29,4 sec. 28,2 sec.	50,8 51,6
25 sec.	—	5	51,1	4,2 sec.	51,2	23,2 sec.	46,1	3,9 sec. 3,9 sec.	23,4 sec. 23,4 sec.	47,8 48,6
20 sec.	46,3	4	47,5	3,3 sec.	46,8	—	—	—	—	—
15 sec.	42,8	3	42,2	2,5 sec.	41,7	14,2 sec.	38,8	2,4 sec. 2,4 sec.	14,4 sec. 14,4 sec.	40,5 40,9
10 sec.	38,1	2	37,9	1,7 sec.	38,1	8,1 sec.	32,0	1,4 sec. 1,5 sec.	8,4 sec. 9,0 sec.	32,4 34,9
5 sec.	30,8	—	—	—	—	5,1 sec.	26,8	0,9 sec. 0,9 sec.	5,4 sec. 5,4 sec.	28,3 28,4
30 sec.	60,5	6	60,3	5,0 sec.	59,8	29,2 sec.	58,2	4,9 sec. 4,8 sec.	29,4 sec. 28,8 sec.	58,8 59,2
25 sec.	—	5	56,4	4,2 sec.	56,5	23,2 sec.	51,4	4,1 sec. 4,0 sec.	24,6 sec. 24,0 sec.	56,3 55,5
20 sec.	52,9	4	53,1	3,3 sec.	53,3	—	—	—	—	—
15 sec.	48,7	3	48,2	2,5 sec.	47,5	14,2 sec.	44,1	2,4 sec. 2,4 sec.	14,4 sec. 14,4 sec.	44,4 45,8
10 sec.	43,9	2	43,5	1,7 sec.	43,6	8,1 sec.	38,8	1,3 sec. 1,3 sec.	7,8 sec. 7,8 sec.	39,2 40,2
5 sec.	39,1	—	—	—	—	5,1 sec.	35,6	0,9 sec. 0,8 sec.	5,4 sec. 4,8 sec.	36,6 36,7
30 sec.	57,4	6	56,0	5,0 sec.	56,9	29,2 sec.	53,7	4,8 sec. 4,9 sec.	28,8 sec. 29,4 sec.	54,0 55,8
25 sec.	53,2	5	53,3	4,2 sec.	53,0	23,2 sec.	48,7	4,0 sec. 3,9 sec.	24,0 sec. 23,4 sec.	49,2 51,2
20 sec.	49,7	4	48,0	3,3 sec.	48,4	—	—	—	—	—
15 sec.	43,8	3	44,2	2,5 sec.	44,1	14,2 sec.	40,2	2,3 sec. 2,4 sec.	13,8 sec. 14,4 sec.	41,0 42,1
10 sec.	40,1	2	39,2	1,7 sec.	39,9	8,1 sec.	34,0	1,4 sec. 1,4 sec.	8,4 sec. 8,4 sec.	35,2 35,4
5 sec.	32,7	—	—	—	—	5,1 sec.	28,8	0,9 sec. 0,8 sec.	5,4 sec. 4,8 sec.	31,1 29,9

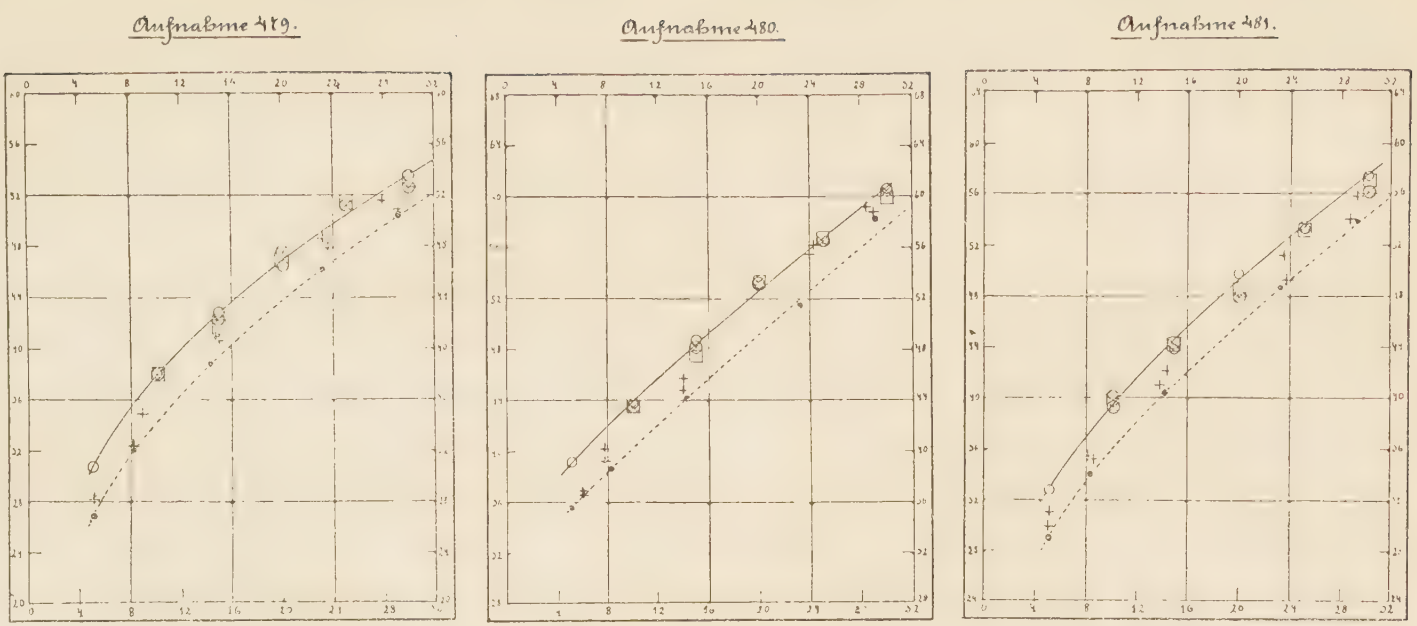


Fig. 8. Graphische Darstellung der Tabelle 17.

Ordinaten: Schwärzungen in mm Keil. Abszissen: Wirksame Belichtungsdauern in Sekunden.
○ Kontinuierliche Belichtung. · Rotierender Sektor, 800 Touren. + Rotierender Sektor, 3 Touren.
⊗ Licht : Pause = 1. Abnehmende Zahl der Einzelbel. □ Licht : Pause = 1. Abnehmende Einzelbelichtungsdauer.

Schwärzungen der jeweiligen beiden Marken einzeln angegeben. Zu beachten ist, daß dieselben von der Inkonstanz der Plattenempfindlichkeit beeinflußt sind. In Fig. 8 sind die in Tab. 17 enthaltenen Schwärzungen als Funktion der zugehörigen wirksamen Belichtungsdauern dargestellt.

Wie man sieht, liegen die zur Tourenzahl 3 gehörenden Schwärzungen nicht auf der mit der Tourenzahl 800 aufgenommenen Zeit-Schwärzungskurve. Dieselben nähern sich vielmehr der den kontinuierlich aufgenommenen Marken entsprechenden Kurve. Und zwar scheint die Annäherung an dieselbe eine umso größere zu sein, je länger die Dauer der Einzelbelichtung ist. Bei der Tourenzahl 3 befinden wir uns also in dem Gebiet, in welchem die Wirkung der intermittierenden Belichtung sich derjenigen der kontinuierlichen nähert. Unsere Photometriermethode verliert in diesem Falle demnach ihre Gültigkeit.

Die beiden anderen intermittierend gedruckten Markenreihen 3 a und b[1]) sind der mit der Tourenzahl 3 aufgenommenen Sektormarkenreihe analog, nur daß bei den beiden ersteren das Verhältnis Licht : Pause konstant gleich 1 bleibt, während es bei der letzteren von 1 an allmählich abnimmt. Wäre das Verhältnis Licht : Pause ohne Einfluß auf die Wirkung der intermittierenden Belichtung, so müßten alle drei Markenreihen sich decken. Wie Figur 8 jedoch zeigt, ist dies nicht der Fall. Wenn wir auch aus den auf S. 67 angegebenen Gründen nicht mit voller Sicherheit sagen können, daß die photographische Wirkung der mit konstantem Verhältnis Licht : Pause = 1 ausgeführten intermittierenden Belichtung gleich derjenigen der gleich lange dauernden kontinuierlichen ist, wofür jedoch das gleiche Ergebnis aller drei Platten zu sprechen scheint, so ist doch das eine gewiß, daß wir uns hier der Wirkung der kontinuierlichen Belichtung noch mehr nähern, als bei den mit der Tourenzahl 3 aufgenommenen Sektormarken, und zwar in so höherem Grade, je kleiner bei den letzteren das Verhältnis Licht : Pause ist. Wir sehen hier wieder deutlich den Einfluß

[1]) In der graphischen Darstellung ⊗ u. □

des abnehmenden Verhältnisses Licht : Pause auf die Wirkung unserer durch den rotierenden Sektor hervorgerufenen intermittierenden Belichtung.

Fassen wir das Ergebnis der im vorstehenden Abschnitt behandelten Versuche kurz zusammen, so sehen wir, daß eine Änderung der Tourenzahl von 1890 bis 120 pro Minute auf die mit dem rotierenden Sektor aufgenommene Schwärzungskurve und mithin auf unsere Photometriermethode bei der speziell benutzten Wellenlänge und Plattensorte ohne Einfluß ist. Bei einer Tourenzahl von 3 Umdrehungen pro Minute befinden wir uns jedoch schon in dem Gebiet, in welchem die Wirkung der intermittierenden Belichtung derjenigen der kontinuierlichen sich nähert und unsere Methode ihre Gültigkeit verliert. Es liegt ferner die Vermutung nahe, daß gerade die gesetzmäßige Abnahme des Verhältnisses Licht : Pause bei unserer speziellen durch den rotierenden Sektor erhaltenen intermittierenden Belichtung denselben zur Anwendung in der photographischen Photometrie geeignet macht. Wir kommen nun zum letzten Punkt unserer Untersuchung, der sich mit der Frage beschäftigt, ob sich eine Variation der Expositionsdauer auf die bisher erhaltenen Resultate geltend macht.

3. Die Abhängigkeit der Versuchsresultate von der Expositionsdauer.

Der zur Beantwortung dieser Frage einzuschlagende Weg ergibt sich aus ihr von selbst. Es ist in gleicher Weise wie bei den Versuchen über die Abhängigkeit unserer Photometriermethode von der Wellenlänge des benutzten Lichtes der Schwächungsfaktor der Kreuzblende zu bestimmen, nur daß im vorliegenden Falle bei konstanter Wellenlänge die Expositionsdauer variiert wird, mit welcher Sektor- und Kreuzblendenmarken aufgenommen werden. Diese Expositionsdauer ist prak-

tisch begrenzt. Denn einmal werden, wenn dieselbe zu klein wird, die beim Belichten auftretenden Zeitfehler sich allzusehr bemerkbar machen, andrerseits wird durch eine zu große Expositionsdauer die Dauer der Gesamtaufnahme zu lang. Bei 10 Minuten Expositionsdauer würde schon allein die Aufnahme der beiden Sektormarkenreihen 2 Stunden beanspruchen. Je länger aber die Dauer eines Versuches ist, um so größer werden die Anforderungen an die Konstanz der Versuchsverhältnisse. Bei einer Anwendung unserer Photometriermethode auf praktische Fälle wird man wohl daher eine Expositionsdauer von 5 Minuten nicht überschreiten, während man andrerseits kaum mit derselben unter 15 Sekunden heruntergehen wird.

Demgemäß wurde für diese beiden Expositionszeiten das auf S. 36 angegebene Aufnahmeschema unter Benutzung der Wellenlänge $\lambda = 434{,}8\ \mu\mu$ und der Extra-Rapid-Platte von Hauff bei konstanter Tourenzahl ausgeführt. Letztere wurde, um den Sektor zu schonen, von 1890 auf 1200 Touren pro Minute herabgesetzt, was wegen des Resultates des vorigen Abschnittes ja erlaubt ist. Bemerkt sei, daß auch durch die Tourenzahl die untere Grenze der anzuwendenden Expositionsdauer beeinflußt wird, da bei gleicher Expositionsdauer die bei der Aufnahme der Sektormarken auftretenden Belichtungsfehler mit abnehmender Tourenzahl größer werden. Außerdem wurde eine Aufnahmereihe mit der bisher verwendeten Expositionsdauer von 60 Sekunden gemacht. Die Intensität war bei den drei Aufnahmegruppen so gewählt, daß die Schwärzungen der Sektormarkenreihen annähernd einander gleich waren.

Aus den in Tabelle 18 angegebenen Resultaten dieser drei Versuchsreihen geht hervor, daß wir für die Expositionsdauern 15 und 300 Sekunden dieselben Ergebnisse bekommen wie für die bisherige von 60 Sekunden. Daraus folgt also, daß unsere Photometriermethode innerhalb der durch die praktische Anwendung gegebenen Grenzen wenigstens im vorliegenden speziellen Falle der Tourenzahl und Wellenlänge von der Expositionsdauer unabhängig ist. Es sei darauf hingewiesen, daß auch für die Wellenlänge $\lambda = 248{,}2\ \mu\mu$ bei der Tourenzahl 1890 und einer

Tabelle 18.

Abhängigkeit von der Expositionsdauer. $\lambda = 434{,}8\ \mu\mu$.

Tourenzahl 1200. Hauff-Extra-Rapid-Platte.

Nr. der Aufnahme	Sektor-Marken		Ohne Kreuzblende		Mit Kreuzblende in Stellung I			Mit Kreuzblende in Stellung II			α *Mittel*	Fehler in %
	i	s	S_0	J_0	S_1	J_1	α_1	S_2	J_2	α_2		
Expositionsdauer 15 Sekunden.												
484	100,0	69,1	69,1	100,0	50,9	47,8	0,478	51,1	48,3	0,483	*0,481*	- 4,8
	68,4	60,2	61,1	71,5	44,4	35,1	0,491	44,6	35,6	0,498	*0,495*	− 2,0
Gesamt-	48,8	51,5	54,1	54,6	40,8	28,8	0,528	40,5	28,3	0,518	*0,523*	+ 3,6
mittelwert	38,7	46,1	45,1	36,5	34,5	18,7	0,512	34,2	18,4	0,504	*0,508*	+ 0,6
$\alpha = 0{,}504$	23,6	37,8	42,3	31,4	32,5	16,0	0,510	32,3	15,7	0,500	*0,505*	+ 0,0
	13,6	30,9	37,4	23,1	29,5	12,1	0,524	28,9	11,4	0,494	*0,509*	+ 0,8
	8,6	26,5										
Expositionsdauer 60 Sekunden.												
487	100,0	67,8	67,8	100,0	50,7	50,5	0,505	49,5	48,2	0,482	*0,494*	− 2,2
	68,4	59,0	59,5	69,4	42,1	33,8	0,487	42,4	34,4	0,497	*0,492*	− 2,6
Gesamt-	48,8	49,7	53,0	55,4	38,4	27,2	0,491	38,6	27,5	0,496	*0,494*	− 2,2
mittelwert	38,7	44,3	43,9	37,1	33,5	19,5	0,526	33,0	18,6	0,501	*0,514*	+ 1,8
$\alpha = 0{,}500$	23,6	36,6	39,5	29,1	29,6	14,0	0,482	29,3	13,6	0,468	*0,475*	− 6,0
	13,6	29,4	35,7	22,9	28,5	12,5	0,546	28,0	11,7	0,511	*0,529*	+ 4,8
	8,6	25,7										
Expositionsdauer 300 Sekunden.												
485	100,0	68,6	68,6	100,0	50,8	51,7	0,517	50,1	50,3	0,503	*0,510*	+ 1,0
	68,4	58,8	60,5	73,5	43,5	37,0	0,503	43,3	36,6	0,498	*0,501*	− 0,8
Gesamt-	48,8	49,8	59,8	71,6	43,3	36,6	0,511	43,1	36,2	0,505	*0,508*	+ 0,6
mittelwert	38,7	44,0	50,2	50,5	37,2	24,9	0,493	37,1	24,5	0,486	*0,490*	− 3,0
$\alpha = 0{,}503$	23,6	36,6	45,0	40,0	35,0	21,3	0,528	34,3	20,3	0,508	*0,518*	+ 2,6
	13,6	29,3	40,5	30,9	30,1	14,9	0,483	30,5	15,3	0,496	*0,490*	− 3,0
	8,6	26,1										

Expositionsdauer von 5 Minuten eine Unabhängigkeit von der letzteren festgestellt wurde.

Wir wollen uns nunmehr darüber orientieren, inwieweit sämtliche im vorstehenden erhaltenen Resultate mit den Ergebnissen anderweitig angestellter Versuche übereinstimmen bezw. inwieweit sie von denselben abweichen. Hierbei haben wir wohl im Auge zu behalten, daß unsere spezielle Frage nach der Anwendungsmöglichkeit des rotierenden Sektors zur photographischen Photometrie indirekt in Zusammenhang steht mit der Frage nach der Wirkung der intermittierenden Belichtung auf die photographische Platte, und haben daher auch zu untersuchen, inwieweit unsere Versuchsergebnisse mit den bisher in dieser Hinsicht gemachten Erfahrungen in Einklang sind.

VIII. Diskussion der Versuchsresultate.

Was zunächst unser allgemeines Resultat betrifft, daß nämlich der rotierende Sektor überhaupt zur Herstellung bekannter Intensitätsverhältnisse in der photographischen Photometrie verwendbar ist, so stehen wir mit demselben in voller Übereinstimmung mit den bereits in der Einleitung erwähnten Versuchen von Simon. Das von letzterem angegebene „neue photographische Photometrierverfahren" deckt sich vollkommen mit demjenigen, dessen Gültigkeit durch unsere Versuche nachgewiesen werden sollte. Wenn das Simonsche Verfahren in der folgenden Zeit keine weitere Anwendung gefunden hat, so liegt dies offenbar daran, daß die Methode auf eine Voraussetzung gestützt wurde, deren Gültigkeit schon damals angezweifelt und späterhin sogar endgültig widerlegt wurde. Simon nimmt nämlich an, „daß die Schwärzung einer Platte immer dieselbe ist, wenn das Produkt aus Intensität und Belichtungsdauer immer dasselbe ist, und zwar auch dann, wenn einmal kontinuierlich, das andermal intermittierend, aber in beiden Fällen gleichlange belichtet wird". Dies ist im allgemeinen nun durchaus nicht der Fall, wie man aus Tabelle 15 sieht, nach welcher in Übereinstimmung mit Abney, Englisch und Schwarzschild die Schwärzung durch intermittierende Belichtung geringer ist, als durch gleichlange dauernde

kontinuierliche. Fernerhin wurde auch nach dem Erscheinen der Simonschen Arbeit nachgewiesen, daß für die kontinuierliche Belichtung gleiche Schwärzungen nicht durch die Beziehung Intensität / Belichtungsdauer = konst. gegeben sind. Trotz dieser unrichtigen Voraussetzungen ist das Simonsche Photometrierverfahren dennoch berechtigt, wie einmal die von Simon selbst experimentell gefundene Tatsache zeigt, daß die mittels desselben bestimmten Größen weder von der Intensität noch Belichtungszeit abhängen, und wie fernerhin die vorstehend beschriebenen Versuche lehren, die ohne jede Voraussetzung über die Wirkungsweise der Belichtung auf rein empirischem Wege die Anwendungsmöglichkeit des rotierenden Sektors zur photographischen Photometrie unter analogen Versuchsbedingungen wie bei Simon ergeben haben. Wie in der Einleitung dargelegt wurde, ist dieselbe ja gerade dadurch bedingt, daß die von Simon gemachten Voraussetzungen **nicht** erfüllt sind.

In Widerspruch stehen wir mit dem Resultate der Versuche von Baisch. Dieser fand, daß der rotierende Sektor für die photographische Platte ein „Mittelding zwischen Verminderung der auffallenden Intensität und Herabsetzung der Expositionszeit" bewirkt, mithin zur photographischen Photometrie „nicht zu verwenden ist".[1] Inwiefern Baisch zu seinem negativen Resultat geführt wird, ist aus seiner Arbeit nicht ersichtlich. Offenbar läßt sich aber dies durch die Art und Weise erklären, in welcher der Sektor von ihm angewendet wurde.

Hinsichtlich der speziellen bei den einzelnen Versuchsreihen zutage getretenen Ergebnisse schließen wir uns fast durchaus den bisher bekannten Tatsachen über die Wirkung der intermittierenden Belichtung an. Lediglich in zwei Punkten scheint dies nicht der Fall zu sein.

Einmal haben wir gesehen, daß eine Variation der Plattensorte und mithin, da die Platten verschiedene Empfindlichkeit besaßen, eine Variation der Plattenempfindlichkeit auf unser Resultat ohne Einfluß war, obwohl nach Englisch[2] die Differenz zwischen

[1]) E. Baisch, Ann. d. Phys. 35. S. 547, 1911.
[2]) Englisch, Arch. f. wiss. Photogr. 1. S. 125, 1899.

der Wirkung intermittierender und äquivalenter kontinuierlicher Belichtung kleiner sein soll, je größer die Lichtempfindlichkeit der benutzten Plattensorte ist, ja unter gewissen Umständen bei sehr hochempfindlichen Platten verschwinden soll. Wenn dies bei uns der Fall wäre, dann müßte unsere mit dem Sektor gewonnene Schwärzungskurve sich bei den höher empfindlichen Platten der dem Schwarzschildschen Gesetz entsprechenden nähern, was sich bei den photometrisch bestimmten Werten des Schwächungsfaktors der Kreuzblende bemerkbar machen müßte. Wir könnten unser Resultat mit demjenigen von Englisch nur durch die Annahme in Einklang bringen, daß die zu den einschlägigen Aufnahmen benutzte Intensität der wirksamen Lichtstrahlen ungefähr gleich $^1/_{100}$ Hefner gewesen ist.

Fernerhin haben unsere letzten Versuche gezeigt, daß unsere Photometriermethode innerhalb der benutzten Grenzen unabhängig ist von der Belichtungsdauer. Auf Grund der Schwarzschildschen Beobachtung, daß die Wirkung der intermittierenden Belichtung von der pro Einzelbelichtung auf die Platte fallenden Lichtmenge ($i \backsim t$) abhängig ist,[1]) wäre ein gegenteiliges Resultat zu erwarten gewesen. Denn da die Intensität bei den mit den verschiedenen Expositionsdauern gemachten Versuchen verschieden war, um gleiche Schwärzungen zu erhalten — bei 15 Sekunden war dieselbe ungefähr gleich dem 20 fachen der bei 300 Sekunden benutzten Intensität — so variierten auch die bei der Belichtung durch den Sektor während der Einzelbelichtungsdauer auf die Platte wirkenden Lichtmengen. Aber auch wenn die Schwarzschildsche Annahme nicht berechtigt wäre, sondern vielmehr nach Englisch[2]) in erster Linie die wirkende Intensität für die Wirkung der intermittierenden Belichtung maßgebend wäre, hätte sich ein Einfluß der Expositionsdauer auf unsere Methode geltend machen müssen. Vielleicht findet dieser Widerspruch darin seine Erklärung, daß bei den verschiedenen Expositionsdauern die Sektormarken immer auf gleiche Schwärzung exponiert wurden, so daß die pro wirksamer Belichtungsdauer auf die Platte wirkenden Lichtmengen annähernd einander gleich waren.

---

[1]) Schwarzschild, Photogr. Corresp. 36. S. 176, 1899.

[2]) Englisch, Arch. f. wiss. Phot. 1. S. 125, 1899.

Was die Unabhängigkeit unserer Methode von der Wellenlänge des benutzten Lichtes betrifft, so wird durch dieselbe ein von Englisch [1]) angegebenes Versuchsergebnis bestätigt, nach welchem ein Einfluß der Wellenlänge auf die chemische Wirkung der intermittierenden Belichtung nicht vorhanden ist.

Betrachten wir nun die unter Verwendung verschiedener Tourenzahlen erhaltenen Resultate. Mit der Tourenzahl ändert sich bei konstanter Intensität die pro Einzelbelichtung auf die Platte fallende Lichtmenge. Da nun nach Schwarzschild [2]) ein bestimmtes Verhältnis Licht : Pause die Wirkung der intermittierenden Belichtung umso mehr schwächt, je kleiner diese Lichtmenge ist und je weiter sie unter dem Schwellenwerte liegt, müßten wir mit abnehmender Tourenzahl eine Zunahme der Schwärzungen wahrnehmen. Bis zu der Tourenzahl 120 pro Minute war dies bei allen Sektoröffnungen nicht der Fall. Dies findet seine Erklärung wohl darin, daß die verschiedenen Einzelbelichtungsdauern sehr klein sind. Die größte vorkommende Partialbelichtung ist 0,12 Sekunden. Offenbar befinden wir uns hier noch so weit unter dem Schwellenwerte, daß eine Variation der Partialbelichtungsdauern keine meßbare Schwärzungsänderung mehr hervorruft. Scheiner [3]) fand, daß bis zu 400 Umdrehungen pro Minute herunter eine Abhängigkeit der mit seinem Sensitometer erhaltenen Schwärzungen von dessen Umdrehungsgeschwindigkeit nicht vorhanden ist, was mit unseren Resultaten in Einklang ist. Englisch [4]) dagegen konnte bei einer Änderung der Tourenzahl von 1500 auf 1200 pro Minute eine Zunahme der chemischen Wirkung der intermittierenden Belichtung feststellen. Unsere Versuche zeigen erst bei 3 Umdrehungen des Sektors in der Minute einen deutlichen Einfluß der Tourenzahl. Die Schwärzungen der Sektormarken sind hier größer, als bei den höheren Tourenzahlen und scheinen bei gleich langer Pause und Einzelbelichtung denjenigen der gleich lange dauernden kontinuierlichen Belichtung gleich zu sein. Offenbar überschreitet in diesem letzteren Falle die pro Einzel-

[1]) Englisch, Arch. f. wiss. Photogr. S. 280, 1900.
[2]) Schwarzschild, Photogr. Corr. S. 171, 1899.
[3]) J. Scheiner, Zeitschr. f. Instrkd. 14. S. 201, 1894.
[4]) Englisch, Arch. f. wiss. Photogr. 1. S. 127, 1899.

belichtung zur Wirkung kommende Lichtmenge den Schwellenwert schon um ein vielfaches. Wenn die mit dem rotierenden Sektor bei der Tourenzahl 3 erhaltene Schwärzungskurve sich nicht mit derjenigen deckt, welche dem konstanten Verhältnis Licht: Pause bei abnehmender Einzelbelichtungsdauer entspricht, sondern sich mit abnehmender wirksamer Belichtungsdauer der mit der Tourenzahl 800 pro Minute erhaltenen Kurve immer mehr nähert, obwohl in beiden Fällen die Größe der jeweiligen Einzelbelichtungsdauern fast dieselbe ist und damit die pro Einzelbelichtung auffallende Lichtmenge, so sehen wir hierin deutlich den Einfluß der längeren Zwischenpause bei der Intermittenz durch den rotierenden Sektor, eine Erscheinung, die sich ebenso wie das in dieser Hinsicht bei den Aufnahmen 474—476 und 488/89 gefundene Resultat mit der von Abney, Englisch und Schwarzschild gefundenen Tatsache deckt, daß die chemische Wirkung der intermittierenden Belichtung unter sonst gleichen Umständen um so geringer ist, je länger die Pause im Verhältnis zur Partialbelichtung.

IX. Zusammenstellung der Resultate. Schlußbemerkungen.

Fassen wir die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zum Schlusse kurz zusammen, so kommen wir zu folgendem Gesamtresultat:

Es hat sich gezeigt, daß die Frage nach der Anwendungsmöglichkeit des rotierenden Sektors zur photographischen Photometrie, soweit es sich um Platten von der bei unseren Versuchen vorliegenden Empfindlichkeit handelt, in bejahendem Sinne zu beantworten ist:

1. wenn man bei der Anwendung des Sektors in der Weise verfährt, daß man während der gleichen Expositionsdauer, während welcher die zu messende Erscheinung aufgenommen wird, mit einer konstanten Intensität derselben Wellenlänge ohne Sektor, also mit einer Winkelöffnung desselben von 360° beginnend, sodann unter Einschaltung des rotierenden Sektors in den Strahlen-

gang mit verschiedenen von Aufnahme zu Aufnahme abnehmenden Winkelöffnungen eine Reihe von Schwärzungsmarken photographiert, diesen die nach dem Talbotschen Gesetz berechneten, den korrespondierenden Winkelöffnungen entsprechenden relativen Intensitäten zuordnet und mit Hilfe der so erhaltenen Intensität-Schwärzungskurve die Intensität der zu messenden Erscheinung aus deren Schwärzung interpoliert;

2. wenn der benutzte Sektor, wie der bei den vorstehenden Versuchen angewendete, zwei Öffnungen gleicher Größe besitzt, oder in anderen Worten: wenn das Verhältnis Licht zu Pause mit der Winkelöffnung in bestimmtem Zusammenhang steht.

Versuche mit der Wellenlänge $\lambda = 434{,}8\ \mu\mu$ haben ergeben, daß diese Photometriermethode, wenigstens für diese Wellenlänge, unabhängig ist

1. von der Umdrehungsgeschwindigkeit des rotierenden Sektors innerhalb der Tourenzahlen 1890—120 Umdrehungen pro Minute,
2. von der Expositionszeit innerhalb eines Bereiches von 15—300 Sekunden.

Die zu erreichende Meßgenauigkeit beträgt für die Einzelmessung 3—5%, wenn auch infolge von Platteneigenschaften mitunter größere Fehler vorkommen. Durch Häufung der Messung läßt sich eine Genauigkeit von 1—2% erreichen.

Da die Intensitätsschwächung durch den rotierenden Sektor, wie unsere Versuche gezeigt haben, auch für die photographische Platte von der Wellenlänge unabhängig ist, so besitzen wir in der angegebenen Methode ein einfaches Mittel **ultraviolette Erscheinungen zu photometrieren.** Ein weiterer Vorzug derselben besteht aus dem gleichen Grunde darin, daß es mit ihrer Hilfe möglich ist, durch wenige Aufnahmen auf einer Platte die zur Photometrie ganzer Spektra nötigen Daten zu erhalten.

Vorliegende Arbeit soll nur ein Beitrag sein zu der schon oft angeschnittenen Frage, ob man den rotierenden Sektor zur photographischen Photometrie verwenden kann. Wenn wir auch gesehen haben, daß dies bei unseren speziellen Versuchsbedingungen

sogar mit einiger Allgemeinheit der Fall ist, so soll doch nicht verkannt werden, daß noch eine Reihe von Fragen zu lösen sind. Insbesondere liegt die Frage nahe, ob wir unter Benutzung anderer Sektorscheiben, welche mehr als zwei Öffnungen besitzen oder bei welchen das Verhältnis Licht zu Pause mit der Winkelöffnung in anderem Zusammenhange steht wie bei unserem Sektor (vgl. das Scheinersche Sensitometer), noch das gleiche Resultat erhalten würden. Ferner ist es von Interesse, ob unsere Methode auch noch für Schumann-Strahlen unter Verwendung gelatineloser Platten richtige Ergebnisse liefert.

Zur Photometrie lichtschwacher Erscheinungen ist unsere Methode in der vorliegenden Gestalt, wie bereits erwähnt, nicht besonders praktisch, da sie zu sehr langen Versuchsdauern führen würde. Es ließe sich jedoch eine Anordnung erdenken, vermöge deren es möglich wäre, die Sektormarken alle gleichzeitig aufzunehmen, indem man z. B. etwa vor einem gleichmäßig beleuchteten Spalt eine Scheibe rotieren ließe, die, ähnlich der Scheibe des Scheinerschen Sensitometers, alle nötigen Sektoröffnungen gleichzeitig enthielte. Die zum Drucken der Sektormarken nötige Zeit würde dann auf den 6. Teil abgekürzt. Es wäre natürlich dann noch die Frage zu entscheiden, ob die unserer Methode zugrunde liegenden Voraussetzungen auch noch für Expositionsdauern gelten, welche 5 Minuten überschreiten.

Die Arbeit wurde — wie bereits oben erwähnt, auf Veranlassung des Herrn Privatdozenten Dr. P. P. Koch — im Physikalischen Institut der Universität München ausgeführt. An dieser Stelle sei es mir gestattet, dessen Vorstand, Sr. Exzellenz Herrn Geheimrat Professor Dr. Röntgen, für die gütige Erlaubnis zur Ausführung der Arbeit und die Überlassung der nötigen Apparate den geziemenden Dank auszusprechen.

Robert Noske, Borna-Leipzig, Großbetrieb für Dissertationsdruck.

Lebenslauf.

Verfasser vorliegender Arbeit ist geboren am 16. Juni 1887 in Dudweiler bei Saarbrücken. In den Jahren 1893—1899 besuchte er die Vorschule und die ersten drei Klassen des Gymnasiums in Elberfeld, von 1899 an das Kgl. Theresien-Gymnasium in München, welches er im Juli 1905 absolvierte. Nach Genügung seiner Militärpflicht widmete er sich an der Universität München dem Studium der Physik, Mathematik und Mineralogie. Über diese Fächer hörte er Vorlesungen bei den Herren:

v. Groth, Röntgen, Lindemann, Voß, Pringsheim, Sommerfeld, Graetz, Doehlemann, Donle, Koch, Gossner, Wagner.

Außerdem besuchte er einige Vorlesungen bei den Herren:

v. Baeyer (Chemie), Seeliger (Astronomie), Lipps (Philosophie) und Muncker (Literatur).